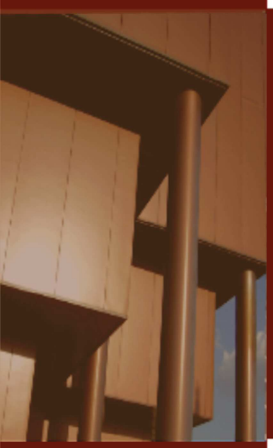
Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Aeroespacial

Recreación Virtual y Modelado del Avión Biplano Ansaldo SVA 5 en CATIA V5 R19.

Autor: Eduardo Fernández González

Tutor: Laura García Ruesgas



Dpto. Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Departamento de
Ingeniería Gráfica

Trabajo Fin de Grado
Grado en Ingeniería Aeroespacial

Recreación Virtual y Modelado del Avión Biplano Ansaldo SVA 5 en CATIA V5 R19.

Autor:
Eduardo Fernández González

Tutor:
Laura García Ruesgas
Profesora colaboradora

Dpto. de Ingeniería Gráfica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla
Sevilla, 2019

Trabajo Fin de Grado: Recreación Virtual y Modelado del Avión Biplano Ansaldo SVA 5 en CATIA V5 R19.

Autor: Eduardo Fernández González

Tutor: Laura García Ruesgas

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

"Ten el coraje para seguir tu corazón e intuición.
Ellos de algún modo ya saben lo que realmente quieres llegar a ser"
- Steve Jobs -

Agradecimientos

Se acabó. Sí, se acabó. Y no sabría decir si ''Por fin'' o ''Por desgracia''. Ha costado, y muchísimo. Ha habido momentos en los que quizás hasta me ha sobrepasado, en los que piensas si realmente esto es para ti. Mañanas, tardes y noches estudiando, quizás demasiado, para luego no conseguirlo. Y luego miras. Miras a tu lado y los ves, a los que te han acompañado durante estos años de estudio, agobio, risas, llantos, aprobados, y más suspensos de los esperados. Y es ahí, cuando te das cuenta que merece la pena seguir, que puedes con esto, y que estás hecho para esto. Os tengo que dar las gracias. Sí, a ustedes.

Al que llegó el primer día de clase y se sentó a mi lado presentándose como si nada sin saber que sería el cordobés al que más he querido y querré nunca. Al que casi me lo quita Cádiz, y ha terminado siendo el mejor compañero de piso y de vida que he podido encontrar. Al que llegó el último a la clase y no por ello ha sido menos importante, y con el que he acabado compartiendo nada más y nada menos que un Erasmus. A los que fueron apareciendo a lo largo de los años y solo he podido arrepentirme de no haberlos conocido antes. Con los que tengo mil y una anécdotas que contar. Sois grandes, muy grandes. Y os quiero a reventar.

Y como no. Mi familia. Como voy a olvidar a mis padres. Los que con tanto esfuerzo han conseguido que hoy pueda decir que soy Ingeniero Aeroespacial. Los que nunca se rindieron, los que me han soportado y sustentado en los malos momentos. Los que han celebrado como suyas mis victorias durante estos años. Sé que no podré agradeceros en cien vidas lo que habéis hecho por mí y que probablemente no haya pasado el tiempo que merecéis que pase con vosotros, pero juro que os intentaré hacer todo lo felices que os merecéis ser.

Se cierra una etapa, pero se abren mil puertas. Solo espero que se sigan cumpliendo mis sueños como hasta ahora, y que a mi lado siempre tenga a gente como vosotros.

Eduardo Fernández González

Sevilla, 2019

Resumen

El Trabajo Fin de Grado que nos ocupa se centrará en el modelado del avión biplano italiano Ansaldo SVA 5, que fue utilizado para misiones de reconocimiento durante la Primera Guerra Mundial. Se dividirá en varios apartados, cada uno de los cuales abarcará el modelado y ensamblaje de cada una de las partes del avión en cuestión.

El proyecto se realizará a través del software Catia V.5. R19, del cual aprendí nociones básicas en la asignatura *"Diseño y Fabricación Asistidos por Ordenador"* impartida en el Grado, y en el que he tenido que profundizar para la realización del trabajo.

Abstract

The final degree project I do deals with the recreation and modeling of the Italian biplane Ansaldo SVA 5, which was used for reconnaissance missions during the First World War. It will be divided into several sections, each of which will cover the modeling and assembly of each of the parts of the aircraft in question.

The project will be done through Catia V.5 software. R19, from which I learned basic notions in the subject *"Diseño y Fabricación Asistidos por Ordenador"* taught in the Degree, and in which I had to deepen to carry out the work.

Índice

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS

1 INTRODUCCIÓN

En este proyecto, realizaré la Recreación Virtual y Modelado del avión Ansaldo SVA 5 mediante el software Catia V5 R19, como Trabajo de Fin de Grado de Ingeniería Aeroespacial.

Este proyecto puede considerarse una recuperación del patrimonio histórico aeronáutico debido a que solo existen planos físicos de este, algunos muy desgastados, y no es posible encontrar un modelo virtual accesible de esta aeronave.

1.1 Objetivos y motivación del Proyecto

Como hemos mencionado anteriormente, el principal objetivo de este proyecto es generar mediante CATIA un modelo 3D del avión Ansaldo SVA 5, que fue utilizado, entre otras cosas, para misiones de reconocimiento durante la Primera Guerra Mundial.

La realización al detalle del modelo con todas las partes del avión es prácticamente inabarcable para una persona con el tiempo del que se dispone para el Trabajo Fin de Grado, por lo que, tras consensuarlo con la tutora, se suprimirá el modelado de algunas partes de la aeronave. El trabajo se dividirá en varios apartados, cada uno de los cuales contendrá el modelado y ensamblaje de cada una de las partes en las que puede dividirse de manera lógica el avión en cuestión. El modelado será detallado, aunque debido a la dificultad y exigencia de modelar una aeronave se obviarán algunas partes del avión. En él se incluirán elementos de la estructura de este avión tales como las costillas, fuselaje, alas, tren de aterrizaje, timón de dirección, timón de profundidad y cabina. No se realizará la reconstrucción del grupo motor ni de los sistemas mecánicos existentes en este aeroplano. También se tiene que tener en cuenta que en algunos casos deberemos hacer suposiciones debido a la falta de información.

Una de las principales motivaciones ha sido la de desenvolverme con mucha mayor soltura en el software CATIA, el cual es uno de los más usados en el mundo empresarial aeronáutico. Además se está proporcionando una vista real y detallada por ordenador de un avión del que solo quedan réplicas en contados museos y solo hay planos físicos, haciéndolo accesible para muchas personas debido a la difusión actual de Internet.

1.2 Información sobre el software Catia V5 R19

El software que utilizaremos para realizar el modelado del avión será Catia V5 R19, con el cual podemos diseñar, analizar e incluso mecanizar cualquier producto.

Catia fue desarrollado por la empresa Dassault Systèmes a principios de los años ochenta. Esta empresa, que nace como escisión de Dassault Aviation el mismo año del lanzamiento del software, tiene a Catia como la marca insignia de la empresa.

Tras varios años de afianzamiento, logró convertirse en el programa de diseño más utilizado por las grandes empresas aeronáuticas como Boeing y Airbus. Aunque en un principio fue desarrollado para servir a la industria aeronáutica, también es utilizado por empresas del automovilismo, como BMW, Porsche, el grupo Volkswagen o Peugeot.

Desde su creación hasta nuestros días, Catia ha sido modificada enormemente introduciendo una mejor interfaz y multitud de módulos mediante diferentes versiones. En la actualidad, la más utilizada es la quinta versión de este software, la cual es con la que trabajaremos.

Los módulos que usaremos principalmente serán:

- **Sketch**  **:** Es la parte básica a la hora de comenzar cualquier diseño. En él se puede crear una serie de curvas y rectas en 2D que forman un perfil plano, a la vez que se imponen unas restricciones y cotas para que quede definido el dibujo.

- **Part Design**  **:** Está dedicado a la creación de modelos sólidos a partir de un sketch con diferentes herramientas como la extrusión.

- **Surface Design**  **:** Con él se pueden crear superficies a partir de un sketch o con elementos alámbricos generados en el espacio.

- **Assembly**  **:** En este módulo se podrá ensamblar y unir las diferentes piezas o partes creadas en el Part Design.

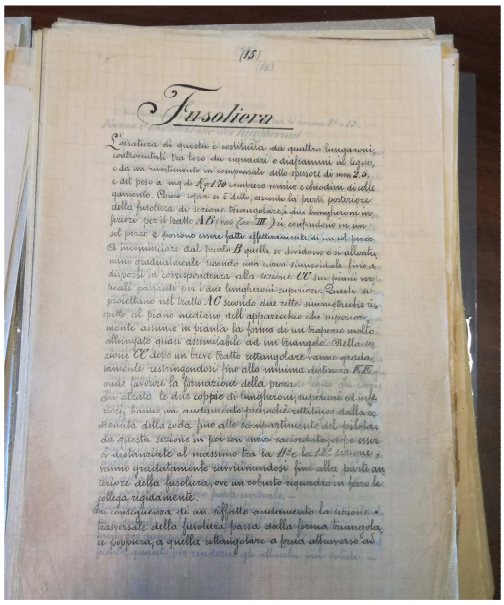
2 DOCUMENTACIÓN

El punto de partida de este proyecto está en mi propuesta a la profesora Laura García Ruesgas para realizar el Trabajo Fin de Grado con ella como tutora, ya que estaba interesado en realizar un proyecto en el cual se utilizara y se profundizara en el software Catia. Tras varias reuniones, decidimos que lo mejor sería la recreación mediante este software de un avión.

Este año último año he estado cursándolo en Italia, en la ciudad de Nápoles. Por ello, me pareció interesante realizar el proyecto sobre algún avión italiano que se fabricara en el primer cuarto del siglo XX. Al principio me planteé comprar por internet algún DVD con los planos de un avión de este tipo, pero tras buscar los museos de aeronáutica existentes en este país, envié varias solicitudes de información sobre aviones de estas características a los siguientes: Museo Storico dell'Aeronautica Militare di Vigna di Valle, Museo dell'Aeronautica Gianni Caproni di Trento e Museo dell'Aviazione di Rimini.

Tras intentar contactar con todos ellos, del único que obtuve respuesta es del Museo Storico dell'Aeronautica Militare. En su contestación me citaban un avión del que tenían información en su Centro di Documentazione "Umberto Nobile": el **Ansaldo SVA 5**. Después de comprobar que cumplía con los requisitos, me dispuse a viajar a Roma para visitar el museo y recabar la información necesaria yo mismo. Allí fui recibido por el Capo Luciano De Luca, con el que realicé una visita guiada por el museo, donde pude ver y observar el avión en cuestión, y me proporcionó los archivos donde podían encontrarse documentos de relevancia para mi proyecto.

Entre los documentos se encuentran planos realizados a mano por el ingeniero Rodolfo Verduzio, así como documentos referidos a los diferentes procesos de verificación del proyecto del avión y a las modificaciones que se hicieron a lo largo del desarrollo de este para salvar los diferentes problemas. Éstos lógicamente, han sufrido el desgaste del tiempo, pero aun así no es difícil intuir las cotas.


(15)

Fusoliera

Figura 2-1. Documento escrito a mano con información del fuselaje

En los planos se obtiene información detallada de prácticamente todo el avión, aunque solo quedan bien acotadas tres costillas principales, de las demás tenemos su posición y las medidas respecto a las mencionadas costillas principales, teniendo que realizar mediciones basadas en ellas.

Hay pocos planos de conjuntos individualizados, por lo que los principales planos con los que trabajaremos tienen ya el ensamblaje completo de todas las partes y conjuntos del avión.

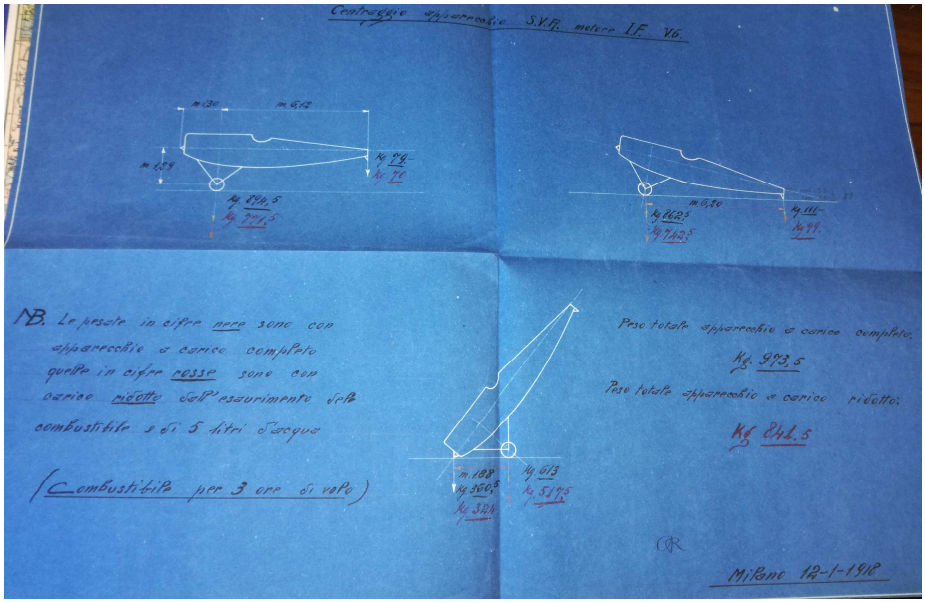


Figura 2-2. Aeronave en diferentes configuraciones

3 HISTORIA DEL ANSALDO SVA

Todo comienza en 1916, cuando la Direzione Tecnica dell'Aviazione Militare (DTAM) italiana, comenzó el desarrollo de un nuevo avión de caza, que estaría diseñado por primera vez, teniendo en cuenta estudios de aerodinámica y de estructura. Se les encargó el proyecto a los ingenieros Umberto Savoia y Rodolfo Verduzzio, los cuales lo terminaron a finales de 1916. El Ministerio de Guerra encargó su construcción a la Società Anonima Aeronautica Ansaldo, nueva filial del conglomerado FIAT, tras la compra, del hasta ese momento Astillero Naval Gio. Ansaldo & C. Con las iniciales de sus diseñadores y fábrica constructora, se formó el nombre del nuevo avión: SVA (Savoia, Verduzzio, Ansaldo). El SVA fue uno de los primeros aviones de concepción y construcción completamente italianos.

La construcción del primer prototipo se inició en diciembre de 1916, terminando en marzo del año siguiente, aunque con algunas modificaciones a los planos originales, en especial en el fuselaje y en los dos radiadores para la refrigeración del motor, que originalmente se ubicaban entre el ala superior y el fuselaje, y fueron sustituidos por el único radiador tipo automóvil que caracteriza al SVA.

Tras la construcción de otros prototipos, comenzó un intenso período de pruebas a cargo de pilotos militares, donde quedó demostrado que el SVA, aunque más rápido que otros cazas contemporáneos como el Hanriot HD-1 y el Spad VII, no tenía la capacidad de maniobra necesaria para utilizarlo como avión de combate. Sin embargo, su alcance, techo operacional y su impresionante velocidad (una de las más rápidas en esos momentos, mayor a la de todos los aviones de combate de los Aliados en la Primera Guerra Mundial) les hizo replantearse su función a la DTAM italiana, que decidió utilizarlo como avión de reconocimiento y bombardero ligero.

Para ello, al modelo original se le introdujeron distintas modificaciones que dieron origen a las distintas versiones de producción del SVA. El modelo SVA 5 (el que modelaremos) fue el primero en ser utilizado como bombardero.

Figura 3-1. Foto de Ansaldo SVA 5 de la época

3.1 Historia operacional del biplano Ansaldo SVA

La primera serie de SVA fue para dotar a la 1ª Sección SVA de Ponte San Pietro, empleándose inicialmente en tareas de reconocimiento.

El primer vuelo de este avión se realizó el 19 de marzo de 1917 en el campo de Grosseto, con el Sargento Mario Stoppani a los mandos.

El 28 de febrero 1.918, un grupo de cuatro SVA, atacó el nudo ferroviario de Innsbruck; tres aviones bombardearon (con 6 bombas de 25 kg) y ametrallaron el objetivo, mientras que el cuarto avión, hizo varias tomas fotográficas del escenario.

La unidad más conocida en emplear los SVA fue la 87ª Squadriglia La Serenissima entre cuyas misiones destacan el reconocimiento fotográfico realizado por dos de estas aeronaves de Friedrichshafen y el Lago de Constanza.

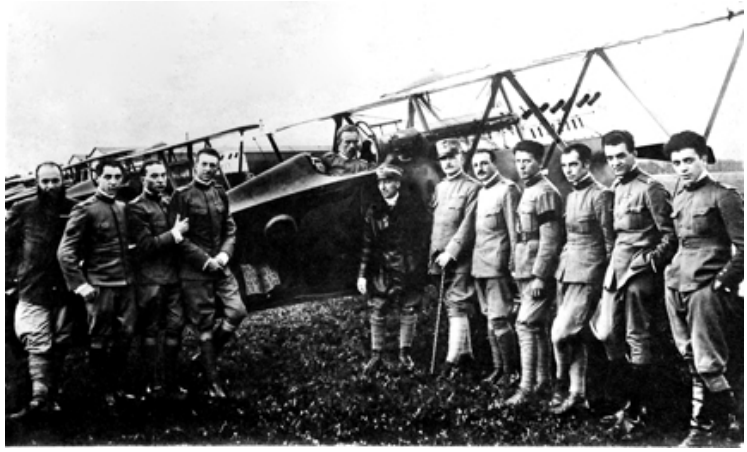


Figura 3-2. 87ª Squadriglia La Serenissima al lado del SVA 5

El vuelo en formación más famoso lo realizó el aviador y poeta Gabriele D'Annunzio, llevado a cabo el 9 de agosto de 1918, por 8 aparatos; desde San Pelagio, volaron hasta Viena y durante 30 minutos sobrevolaron la capital enemiga, tomando fotografías y lanzando panfletos, los cuales contenían lemas para atemorizar e invitar a la rendición a las tropas enemigas.

Figura 3-3. D'Annunzio antes del vuelo en formación de Viena

Después de la guerra, gracias a la fuerte determinación de los pilotos y la gran preparación de las compañías, dos SVA viajaron de Roma a Tokio en un largo vuelo de 18,000 km, mientras que el pilotado por Antonio Locatelli cruzó los Andes en un vuelo solitario.

La Real Fuerza Aérea recibió los últimos ejemplares en 1928, más de 10 años después del inicio de la producción. Uno de los últimos usos operacionales fue en Libia, donde permaneció en servicio hasta 1930, aunque con misiones de menor relevancia, como el servicio postal y tareas cartográficas.

El avión expuesto en el Museo Storico dell'Aaeronautica Militare perteneció al Maggiore Giordano Bruno Granzarolo, y es uno de los que hizo el vuelo a Viena en 1918 para lanzar panfletos invitando a Austria a rendirse.

Figura 3-4. Ansaldo SVA 5 expuesto en el Museo Storico dell'Aeronautica Militare de Vigna di Valle

3.2 Especificaciones del avión

La información de la que disponemos en relación a las características técnicas de la aeronave son las siguientes:

Apertura alar	9.18 m
Longitud	8.13 m
Altura	2.72 m
Superficie alar	26.96 m^2
Peso al vacío	695 kg
Velocidad máxima	207 km/h
Motor	SPA 6A 205CV o Isotta Fraschini 6° 250 CV
Armamento	ametralladoras "Vickers calibre 7.7" de

Tabla 3-1. Especificaciones del avión

4 MODELADO DEL AVIÓN EN CATIA V5 R19

En este apartado iremos describiendo paso por paso el proceso de modelado del avión en el software Catia, haciendo mención de las operaciones que utilizamos y los productos intermedios y finales que obtenemos con ellas.

Para ello hemos dividido el avión a diseñar en varios subconjuntos:

- Fuselaje
- Ala
- Timón de cola
- Hélice
- Tren de aterrizaje

4.1 Fuselaje

Se describe fuselaje (proveniente de la palabra francesa 'fuselè' la cual significa 'ahusado', es decir, con forma de huso) como la parte central o principal de la estructura del avión que sirve para alojar a los pasajeros y carga, así como los sistemas y equipos de a bordo. Además sirve de unión de las demás partes del avión, acoplándose a este de forma directa, como las alas, el timón de cola, el motor (en caso de aeronaves con un único motor) o el tren de aterrizaje, o indirecta, como los motores (en el caso de aeronaves bimotor) o las superficies de control.

En nuestro caso, como el Ansaldo SVA 5 es una aeronave monomotor con una única hélice, estará alojado en el fuselaje, en la parte del morro. Nuestro avión tiene también una configuración de 'doble ala', aunque solo el ala baja irá unida al fuselaje de forma directa.

La forma del fuselaje depende de las necesidades requeridas en la construcción de la aeronave, esto es, dependerá de la finalidad para la que se ha construido el avión (caza, bombardero, de carga, comercial…) proporcionando un rendimiento aceptable en la realización de su misión. Por tanto, si es un avión comercial deberá tener espacio suficiente para la tripulación y pasajeros, o si como en nuestro caso, es un caza o avión de reconocimiento solo deberá albergar la cabina del piloto pero tiene que soportar unas cargas mayores.

El Ansaldo SVA 5 posee un fuselaje de tipo reticular o tubular, el cual está compuesto principalmente de cuadernas, largueros y diagonales. Las cuadernas son los elementos que dan forma y rigidez a la estructura, los largueros, que son de perfil rectangular y alargados, recorren todo el fuselaje y su función es unir las cuadernas, y las diagonales dan rigidez al conjunto largueros-cuadernas. La estructura formada por estos elementos se cubre de láminas de madera adquiriendo una forma aerodinámica y uniforme.

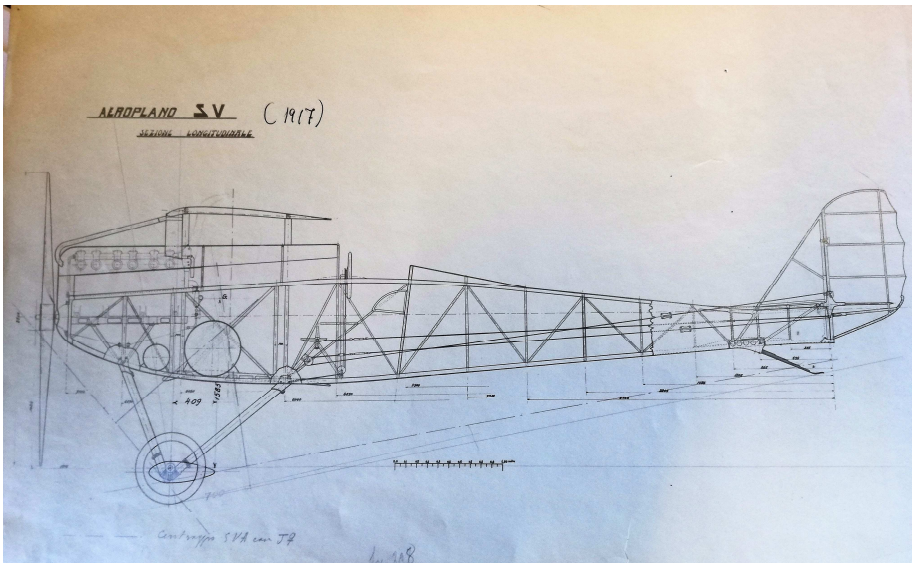


Figura 4-1. Perfil con la posición de las cuadernas y la distancia entre ellas

4.1.1 Planificación del diseño de las cuadernas

Como hemos mencionado anteriormente, las cuadernas son los elementos más importantes de la estructura del fuselaje ya que le dan la forma y rigidez a éste. Comenzaremos por las cuadernas de las que disponemos más información y a partir de las medidas de éstas podremos diseñar el resto, debiendo hacer en algunos casos suposiciones en cuanto a las medidas y el grosor del que se les dota.

Según los planos a los que hemos tenido acceso, parece claro que tiene~~n~~ un total de 17 cuadernas repartidas a lo largo de la estructura.

Tenemos información precisa de las cuadernas número 3, 8 y 12.

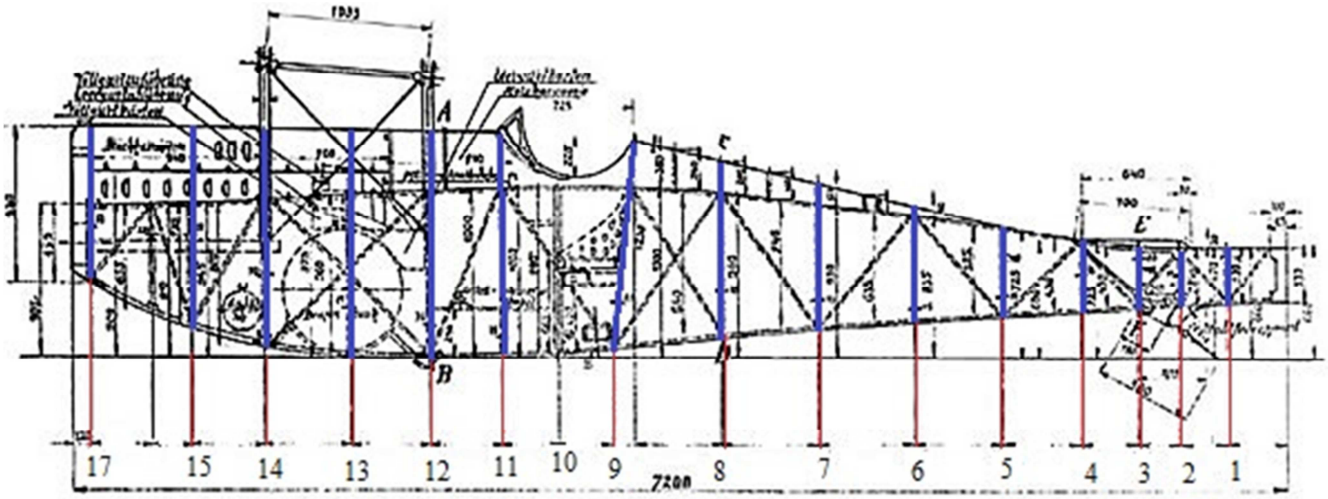


Figura 4-2. Numeración de las cuadernas

Teniendo en cuenta las medidas de las cuadernas nombradas anteriormente y a partir del plano escalado de la vista frontal de todas las secciones obtendremos las medidas para poder modelar el resto.

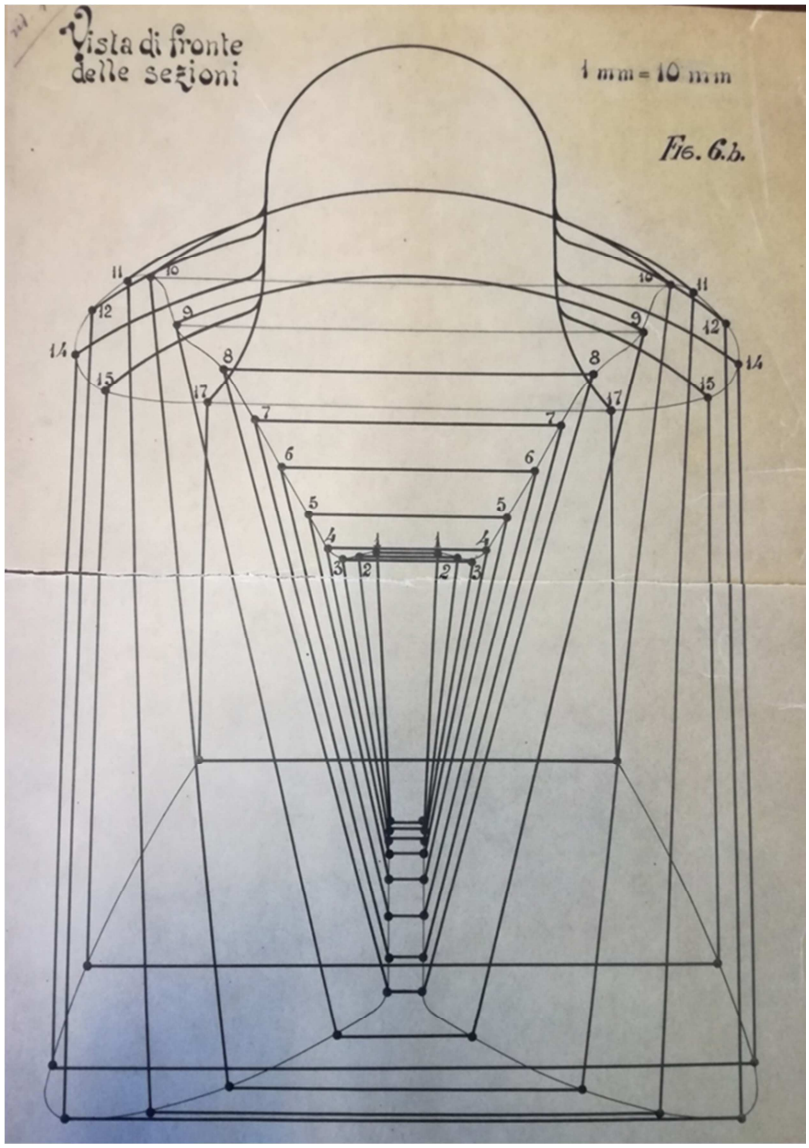


Figura 4-3. Vista frontal de las secciones.

4.1.2 Diseño de las cuadernas

En este apartado nos centraremos en el modelado de las cuadernas individuales.

4.1.2.1 Cuaderna 12

Comenzaremos por la cuaderna número 12, que se describe detalladamente en uno de nuestros planos.

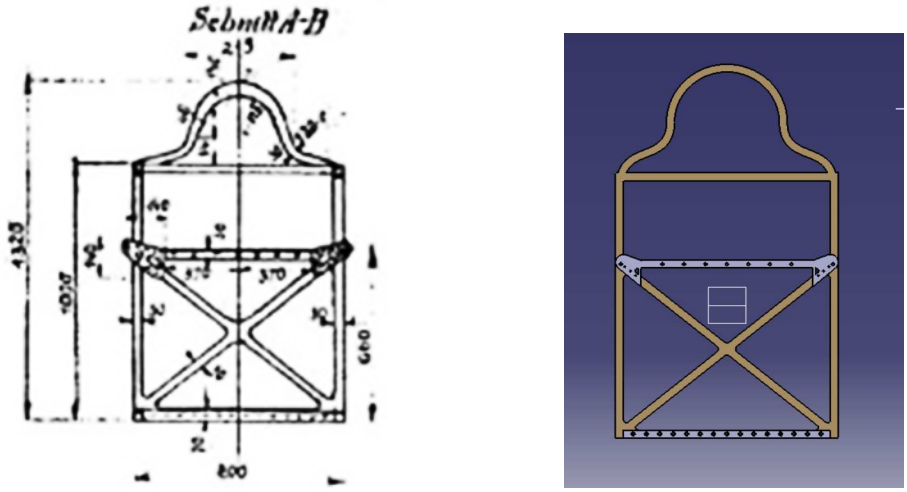


Figura 4-4. Plano de costillas 12 en comparación con la costilla diseñada en Catia

Como podemos observar esta cuaderna tendrá una parte principal rectangular reforzada por unos listones diagonales en forma de cruz y una parte superior redondeada que da forma al espacio donde irá alojado el motor. También se puede comprobar que dispone de dos refuerzos metálicos en la parte central y en la parte baja. La calidad de los planos no es la óptima, pero se pueden distinguir las medidas principales.

Comenzaremos dibujando en un sketch la estructura principal, para luego añadirle los listones de refuerzos diagonales y el horizontal, así como la parte superior redondeada:

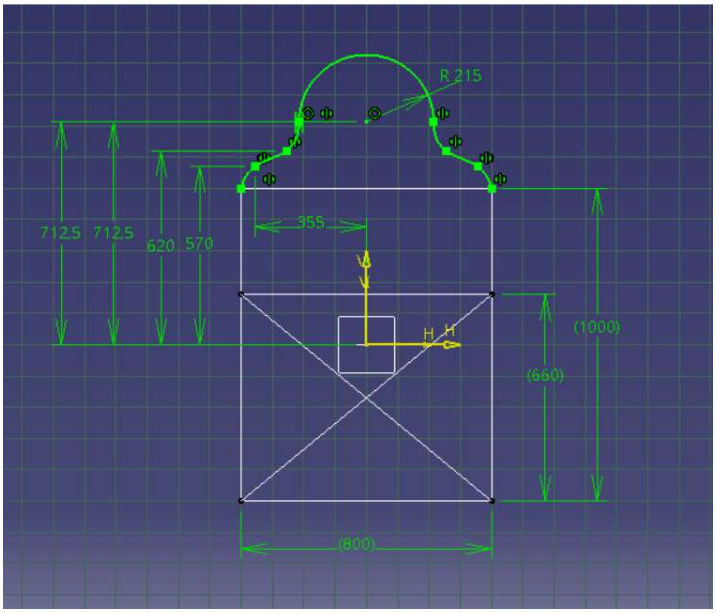


Figura 4-5. *Sketch* de la estructura principal de la cuaderna 12

Tras dibujar los sketchs, le dotamos de un espesor y un ancho mediante la orden *Pad*. Los espesores de los listones de madera que forman la figura son todos de 30 mm y éstos se consideran cuadrados.

A este resultado le realizaremos el redondeo correspondiente en las esquinas de los refuerzos, con un radio de 10mm, utilizando la orden *Edge Fillet*:

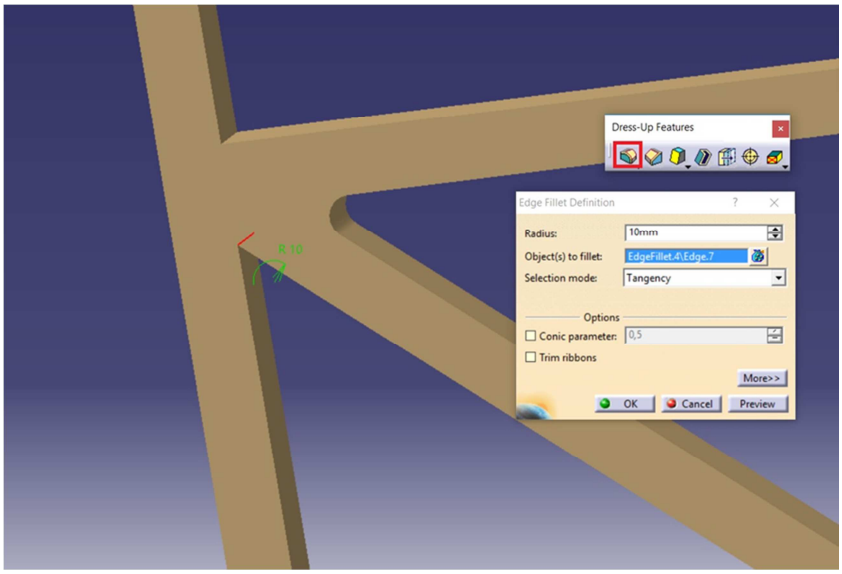


Figura 4-6. Redondeo de esquinas interiores en cuaderna 12

Obteniendo finalmente el siguiente perfil:

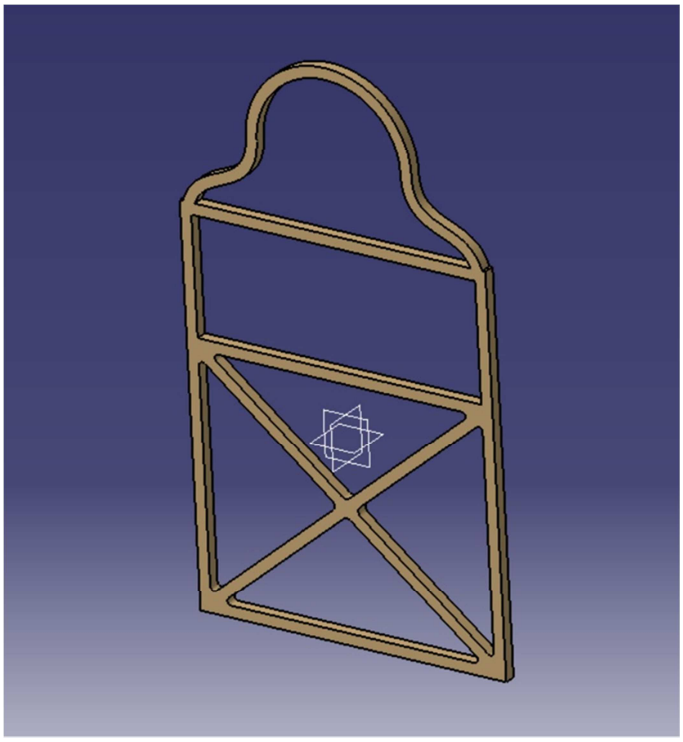


Figura 4-7. Cuaderna 12 tras realizar la orden *Pad* y el redondeo de las esquinas interiores.

4.1.2.1.1 Refuerzo superior

El refuerzo superior podemos deducir que es metálico y según el plano del que disponemos tendrá la siguiente forma:

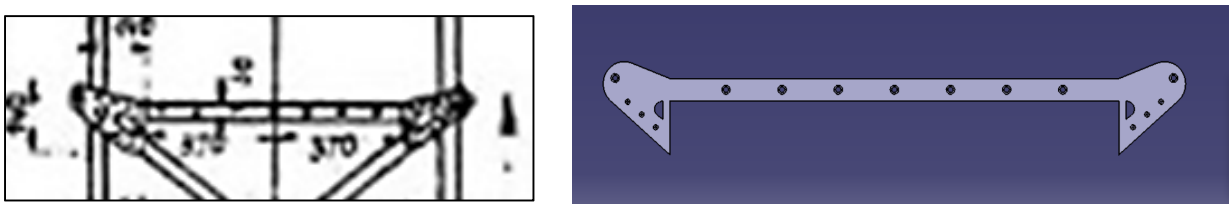


Figura 4-8. Plano del refuerzo superior de la cuaderna 12 y modelo del mismo en Catia

Para crear este refuerzo, primero realizamos el sketch correspondiente al que le daremos un espesor de 5mm:

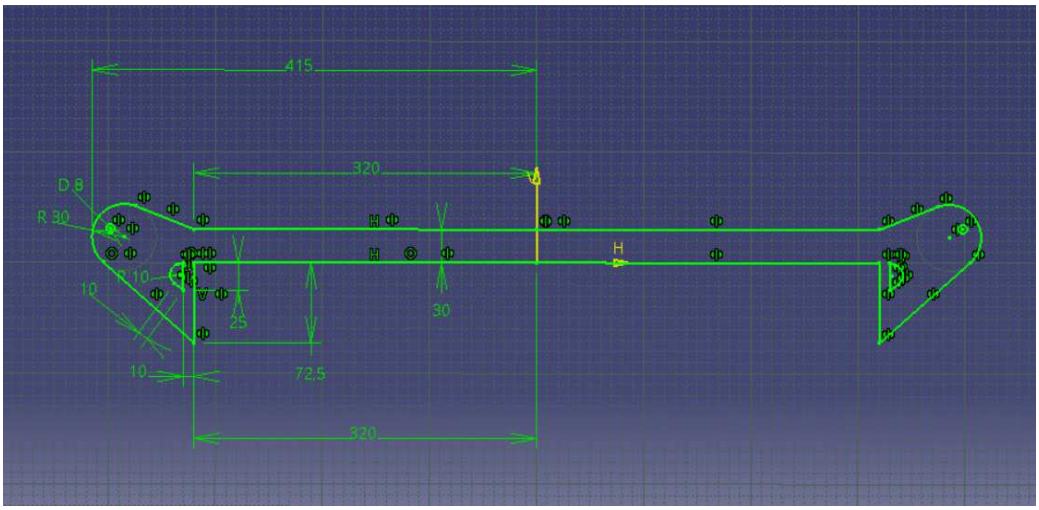


Figura 4-9. *Sketch* del refuerzo superior de la cuaderna 12

Tras esto le realizaremos los taladros en la parte central utilizando la función *Hole* con un radio de 6mm y un ensanchamiento en la parte superior de 4mm más, en el cual irá alojado la cabeza del tornillo, cambiando en el apartado *Type* de 'Simple' a 'Counterbored':

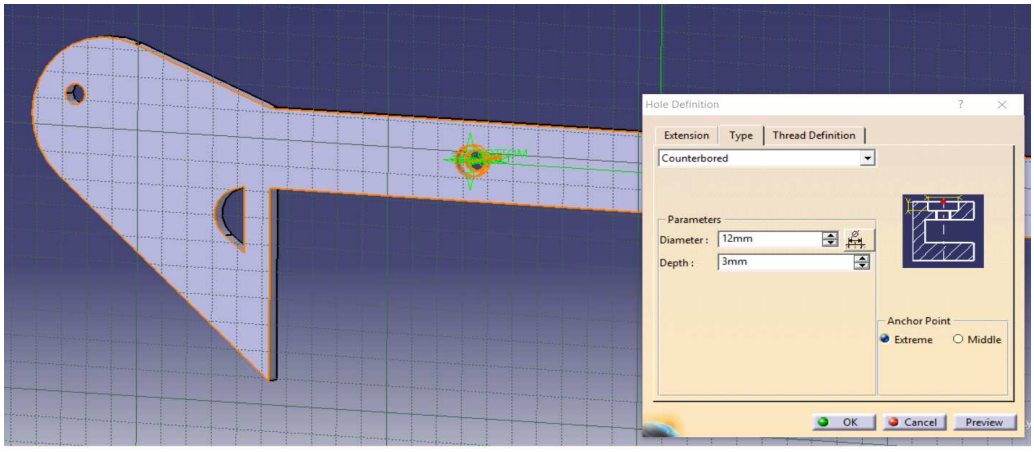


Figura 4-10. Taladros centrales del refuerzo superior de la cuaderna 12

Después de esta operación, realizaremos los demás taladros con la operación *Rectangular Pattern*, dándoles un espaciado entre ellos de 80mm:

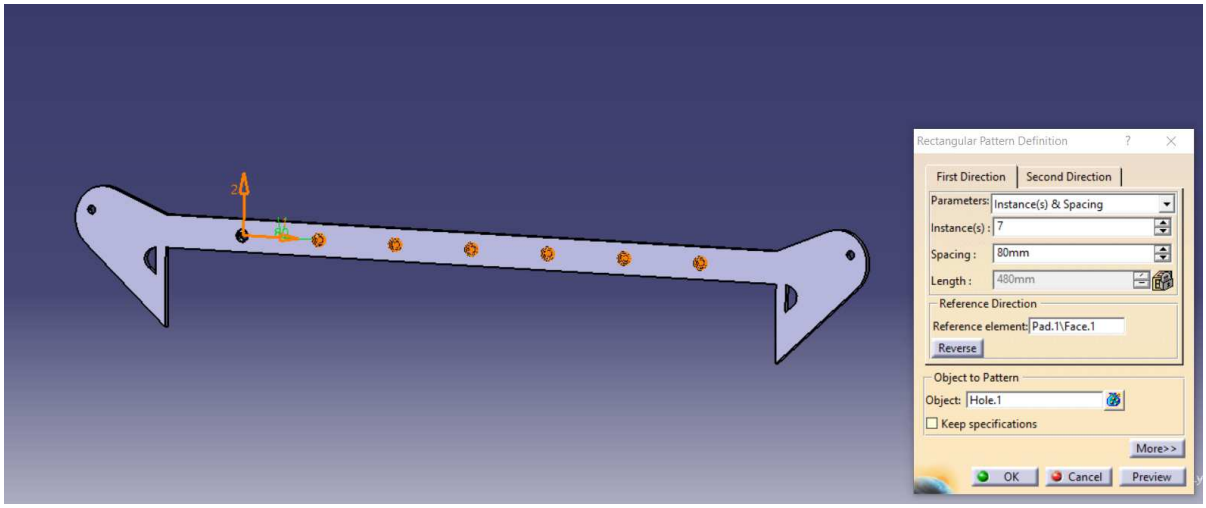


Figura 4-11. Orden *Rectangular Pattern* en taladros centrales del refuerzo superior de la costilla 12

Por último realizaremos con las órdenes *Hole* y *Mirror* los taladros de menor diámetro, el cual tiene un valor de 3 mm.

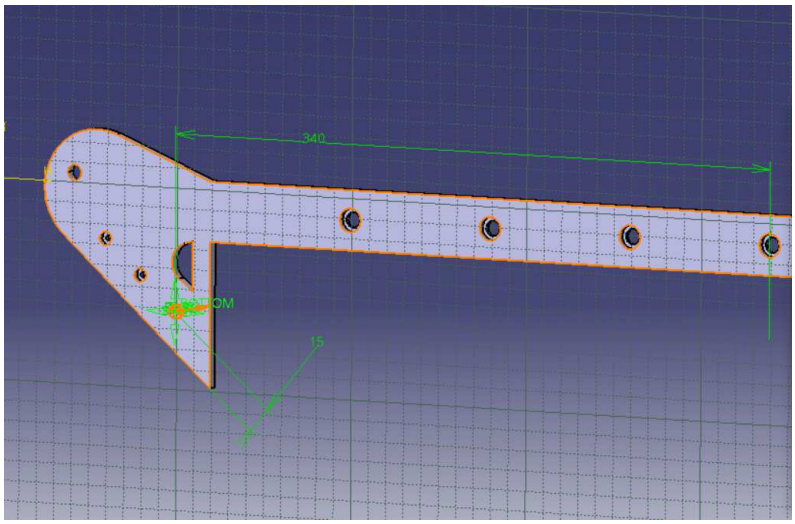


Figura 4-12. Taladros de menor diámetro sobre el refuerzo de la costilla 12.

Este refuerzo irá unido a nuestra cuaderna mediante tornillos, por lo que es necesario realizar los taladros también en ésta. Los taladros estarán posicionados de tal forma que coincidan con los del refuerzo cuando éste se coloque sobre la cuaderna.

Por tanto, tendrán una profundidad de 15mm y un diámetro de 8mm.

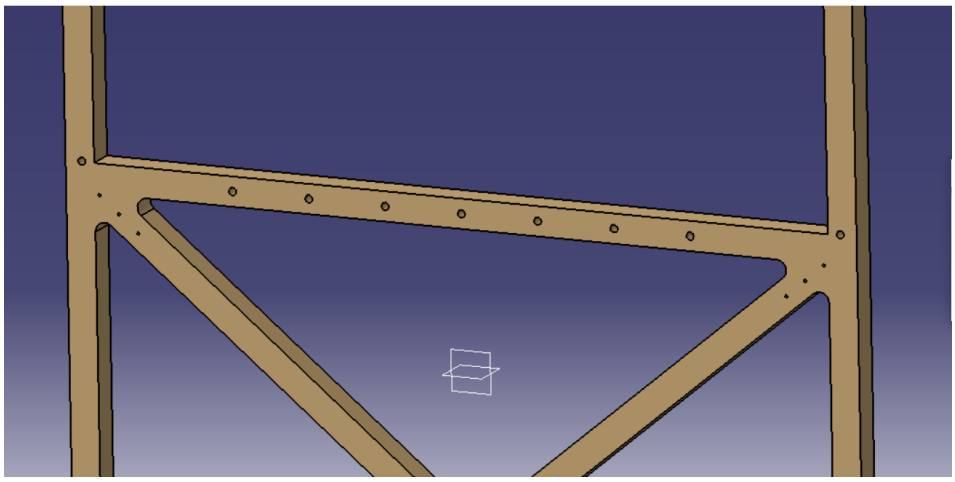


Figura 4-13. Taladros sobre la superficie de la cuaderna para el refuerzo superior

Tras colocar el refuerzo sobre nuestra cuaderna se tiene el siguiente resultado:

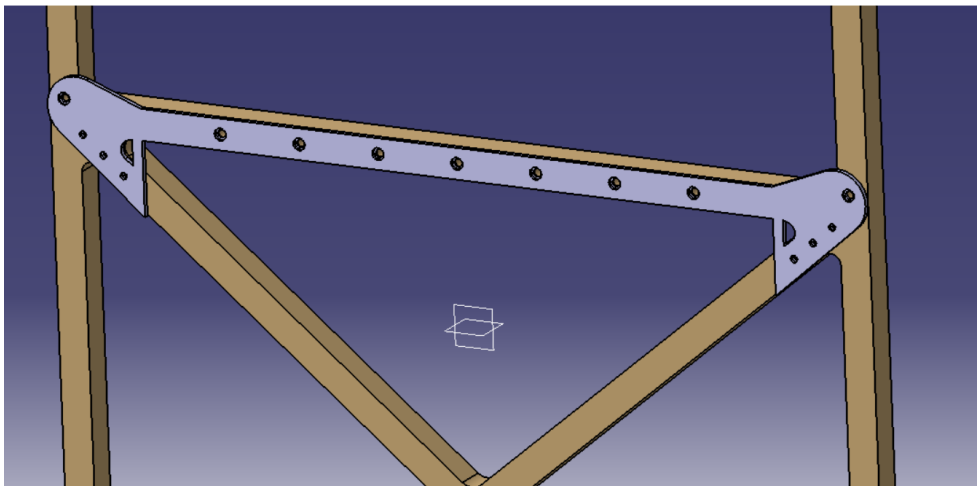


Figura 4-14. Refuerzo superior colocado sobre cuaderna 12

4.1.2.1.2 Refuerzo inferior

El refuerzo inferior es una simple lámina rectangular con varios taladros equiespaciados, por lo que su diseño será más sencillo que el del refuerzo superior. Su longitud será de 15 mm menos a cada lado que la del listón de madera horizontal inferior que forma el rectángulo principal de la cuaderna (ya que se debe dejar un espacio para encajar los largueros posteriormente) y su ancho será el mismo que el de éste. El espesor lo volveremos a tomar de 5mm.

Este refuerzo tiene una serie de taladros que también tendrán un diámetro de 6mm, con el mismo ensanchamiento que en el refuerzo superior.

Tras realizar el sketch y darle espesor con la orden *Pad*, obtenemos los taladros con el comando *Hole* seguido de la función *Rectangular Pattern* como anteriormente. En este caso el espaciado que damos entre un taladro y otro será de 50mm, habiendo un total de 15.

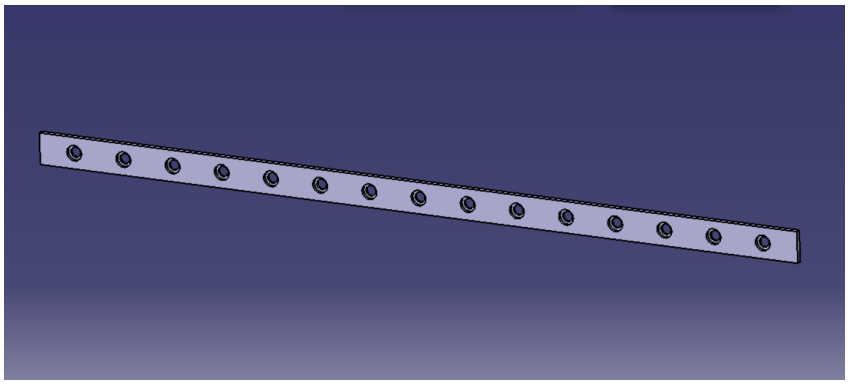


Figura 4-15. Refuerzo inferior de la costillas 12

Para poder ensamblar este refuerzo con nuestra cuaderna deberemos, de nuevo, hacer los taladros correspondientes.

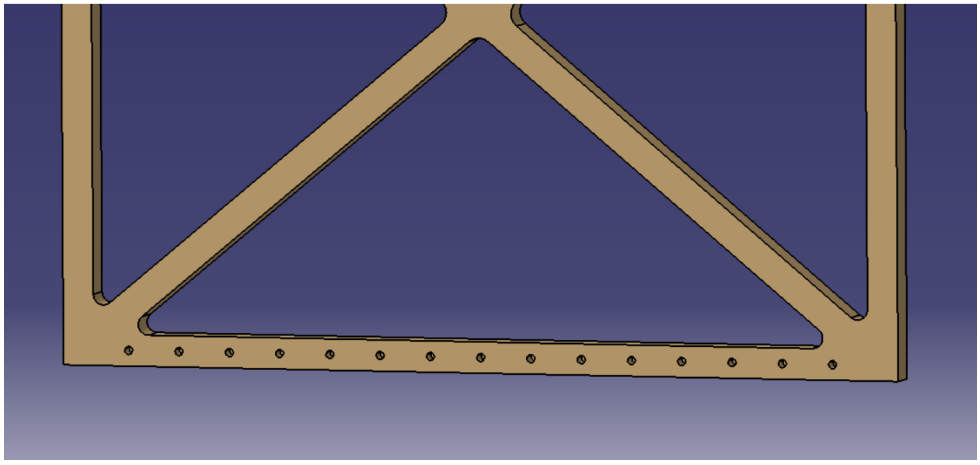


Figura 4-16. Taladros inferiores sobre la cuaderna 12 para el refuerzo inferior

4.1.2.1.3 Tornillería utilizada

Para unir estos refuerzos metálicos a las cuadernas de madera utilizaremos tornillos convencionales.

Los tornillos utilizados serán del tipo DIN-84, de M3 y de M6, y se detallan a continuación:

MÉTRICA		M3	M4	M5	M6
Ød2: diámetro cabeza	[mm]	5.5	7	8.5	10
k: espesor cabeza	[mm]	2.0	2.6	3.3	3.9
n: anchura ranura	[mm]	1.0	1.50	1.50	1.9
t: profundidad ranura	[mm]	1.15	1.5	1.8	2.2

Figura 4-17. Tornillería DIN-84 utilizada

En Catia, haremos un *Pad* cilíndrico a partir de un círculo con el diámetro correspondiente, y tras ello, le daremos un roscado con la función *Thread/Tap*. Para la cabeza del tornillo haremos un nuevo *Pad* cilíndrico sobre el que teníamos hecho del diámetro que se indica en la tabla de la Figura 4-17 y un *Pocket* con el que se creará la ranura:

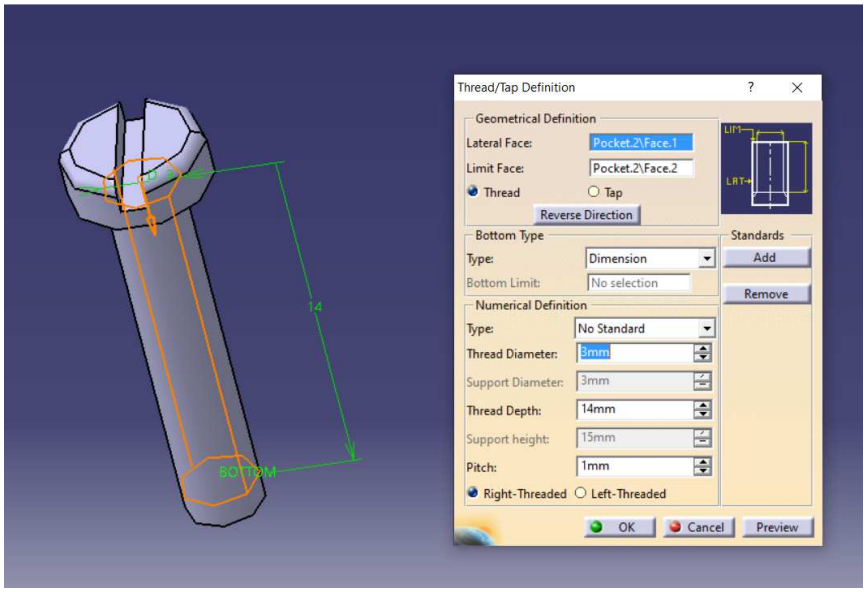


Figura 4-18. Modelo en Catia de tornillo de M3 DIN-84 con *Thread* aplicado

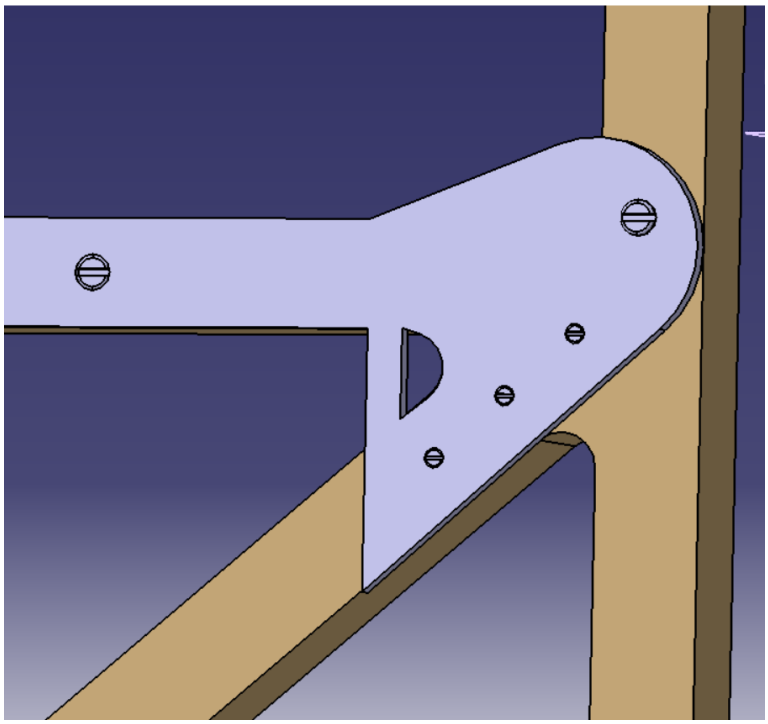


Figura 4-19. Tornillos posicionados en refuerzo superior.

Finalmente, el conjunto completo de cuaderna y refuerzos queda de la siguiente forma:

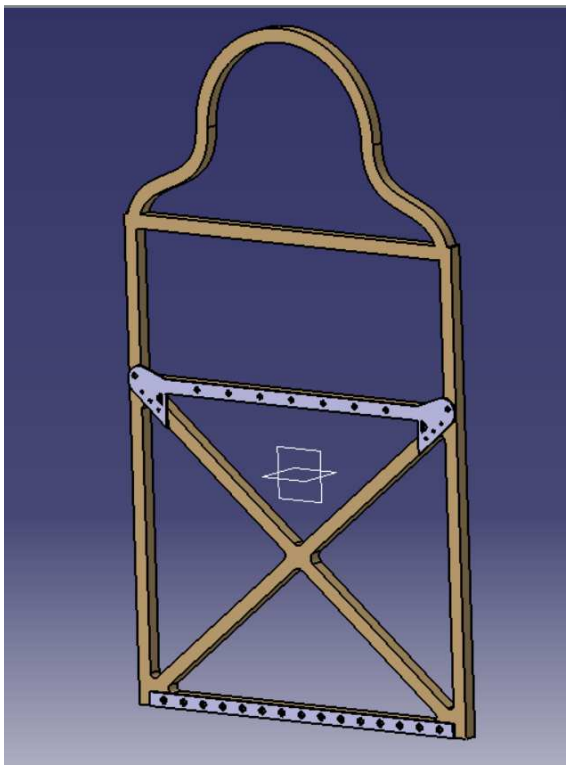


Figura 4-20. Conjunto final cuaderna 12

4.1.2.2 Cuaderna 8

Otra de las cuadernas de las que disponemos cotas en detalle es la cuaderna nº 8. Esta cuaderna se sitúa detrás del asiento del piloto y se compone de una parte principal trapezoidal y un arco redondeado en la zona superior.

En esta cuaderna el espesor de los listones es de 15mm, a diferencia de las cuadernas de la parte delantera que tienen el doble debido a que tienen que soportar el peso del motor.

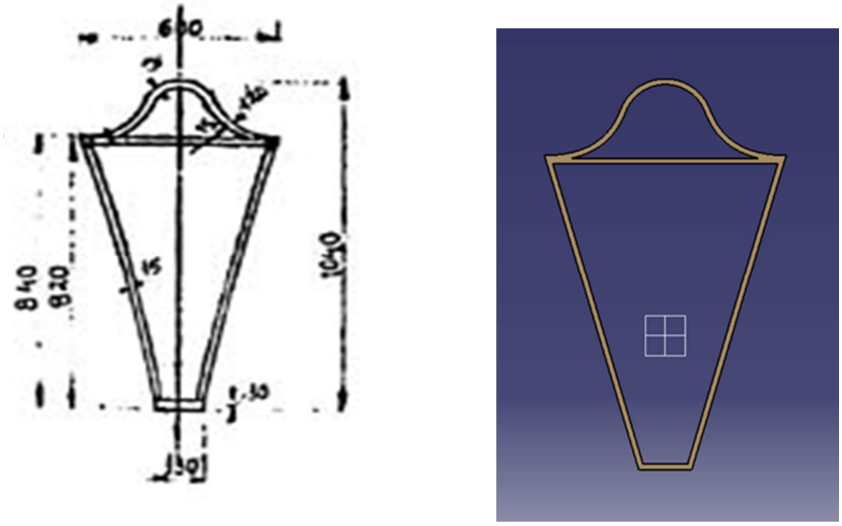


Figura 4-21. Plano de la octava cuaderna y modelo de ésta en Catia

El sketch con las medidas correspondientes es el siguiente:

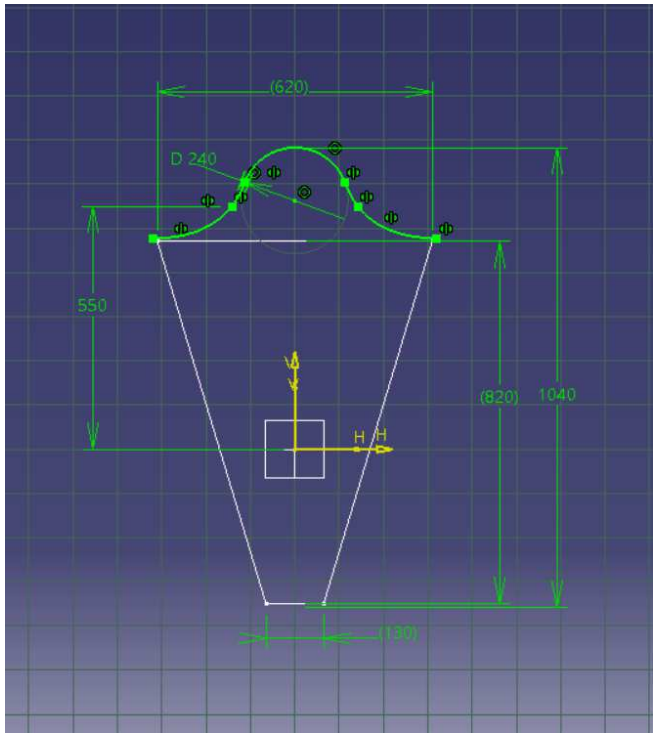


Figura 4-22. *Sketch* de la cuaderna 8

A este sketch le realizamos un *Pad* de 15mm con un espesor de 15mm, para obtener la Figura 4-18 mostrada anteriormente.

4.1.2.3 Cuaderna 3

La cuaderna nº 3 es la última de la que tenemos medidas exactas y un esquema detallado. Esta cuaderna, al pertenecer a la parte trasera de la aeronave también tendrá forma trapezoidal y un espesor de listones de 15mm.

En este caso, cuenta con un listón horizontal de refuerzo en la parte central con una longitud de 160mm.

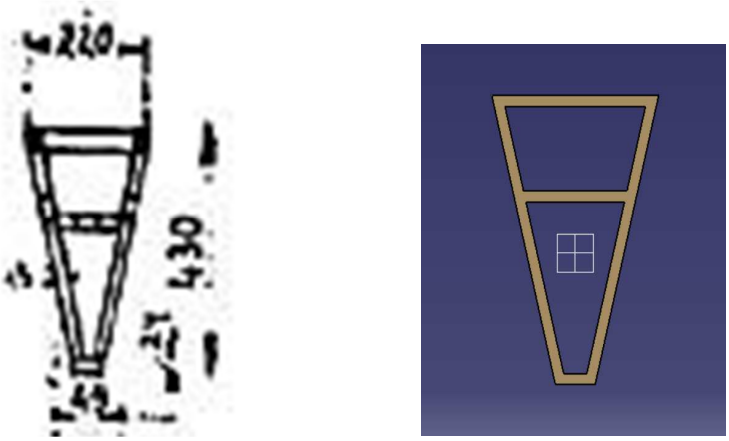


Figura 4-23. Plano de la cuaderna número 3 y modelo de la misma en Catia

Para realizar este perfil seguimos el mismo procedimiento utilizado anteriormente: dibujar un *Sketch* y luego darle un grosor con la orden *Pad.*

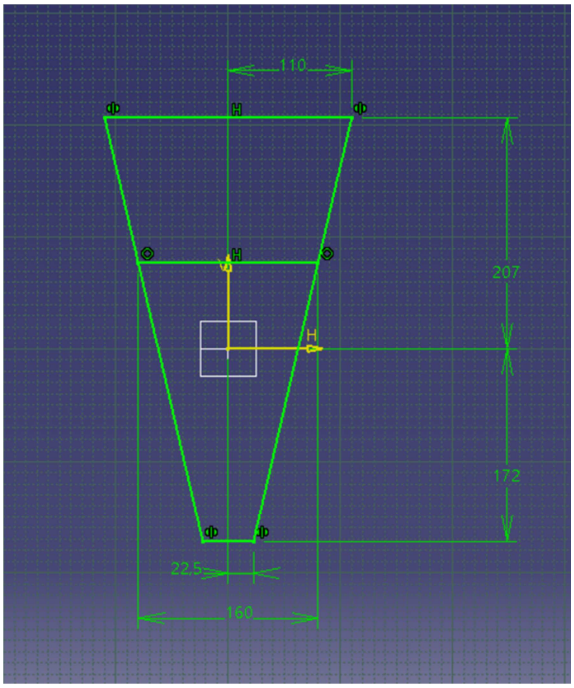


Figura 4-24. *Sketch* de la cuaderna nº3

4.1.2.4 Cuaderna 1

Tras diseñar las cuadernas de las que disponemos planos acotados, nos disponemos a modelar el resto de cuadernas a partir de los planos de las secciones que mostramos con anterioridad en la Figura 4-3, midiendo las longitudes en el papel y aplicándole la escala correcta.

Comenzamos, siguiendo el orden natural por la cuaderna nº 1, que es la primera que nos encontramos si comenzamos a contar por la cola del avión.

Para el diseño de esta cuaderna nos hemos basado en la cuaderna nº 3 que hemos modelado anteriormente, añadiéndole también un listón horizontal de refuerzo a una distancia proporcional del centro de la cuaderna.

Este refuerzo también se añadirá a las demás cuadernas hasta llegar a la quinta, a partir de la cual nos basaremos en el diseño de la cuaderna nº8.

Le daremos un ancho y un espesor de 15mm cada uno, tal y como hemos comentado que actuaremos con las cuadernas posicionadas detrás del asiento del piloto.

Las medidas de ésta se detallan a continuación en el *Sketch,* así como el resultado final tras aplicarle el espesor y ancho con la orden *Pad:*

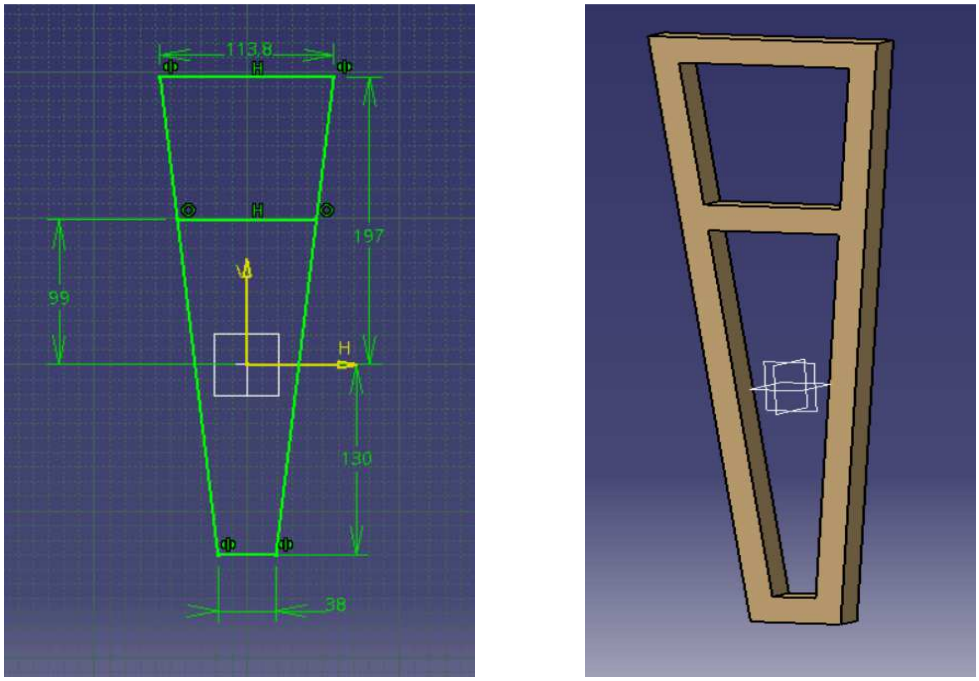


Figura 4-25. *Sketch* de la cuaderna y modelo en Catia

4.1.2.5 Cuaderna 2

Dándole de nuevo un espesor y ancho de 15mm y con las siguientes medidas, queda:

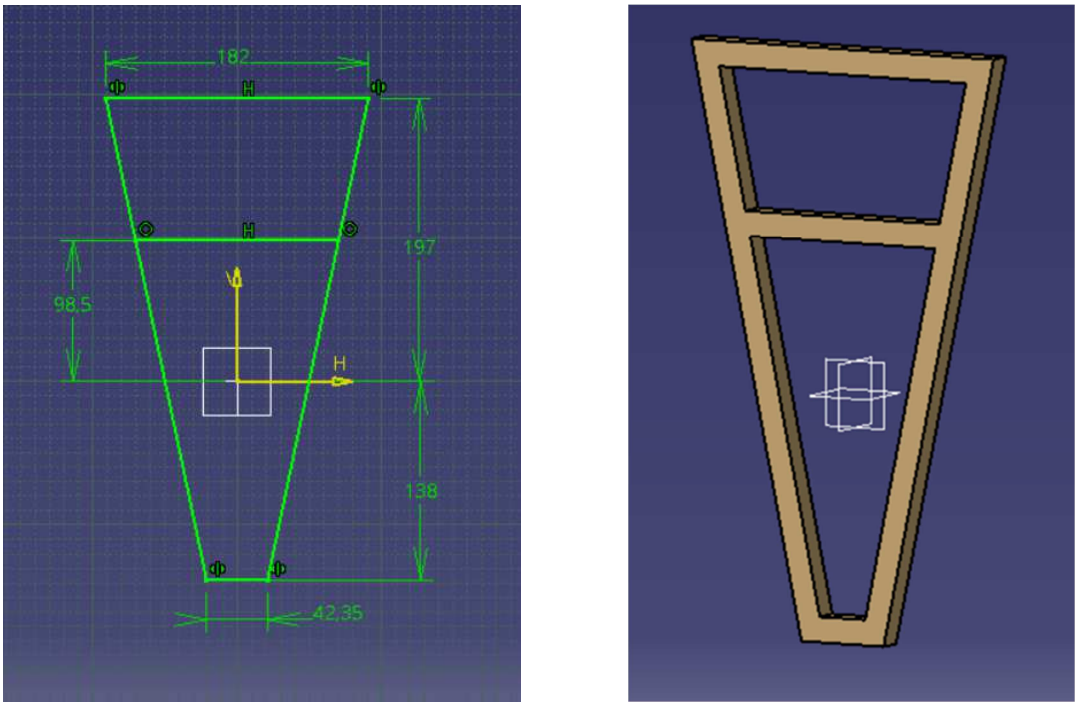


Figura 4-26. *Sketch* de la cuaderna nº 2 y modelo en Catia

4.1.2.6 Cuaderna 4

Esta cuaderna se ha diseñado de la siguente forma, aplicando de nuevo un *Pad* y un *Thickness* de 15mm:

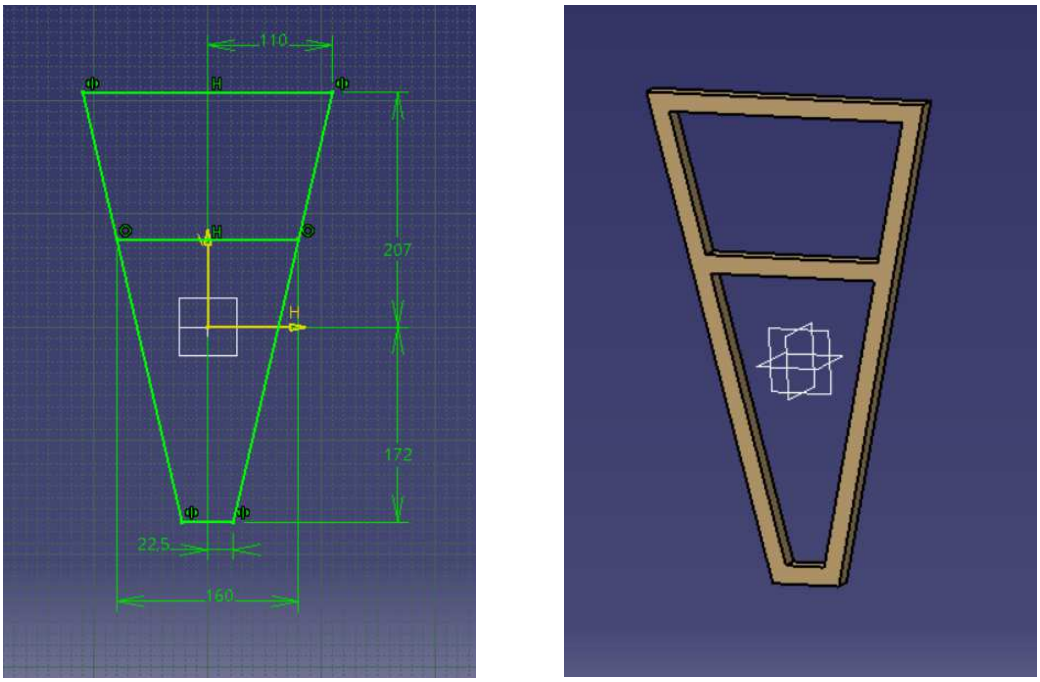


Figura 4-27. *Sketch* de la cuaderna nº 4 y modelo en Catia

4.1.2.7 Cuaderna 5

A continuación se muestra las medidas en el *Skecth* y el modelado tras aplicarle espesor:

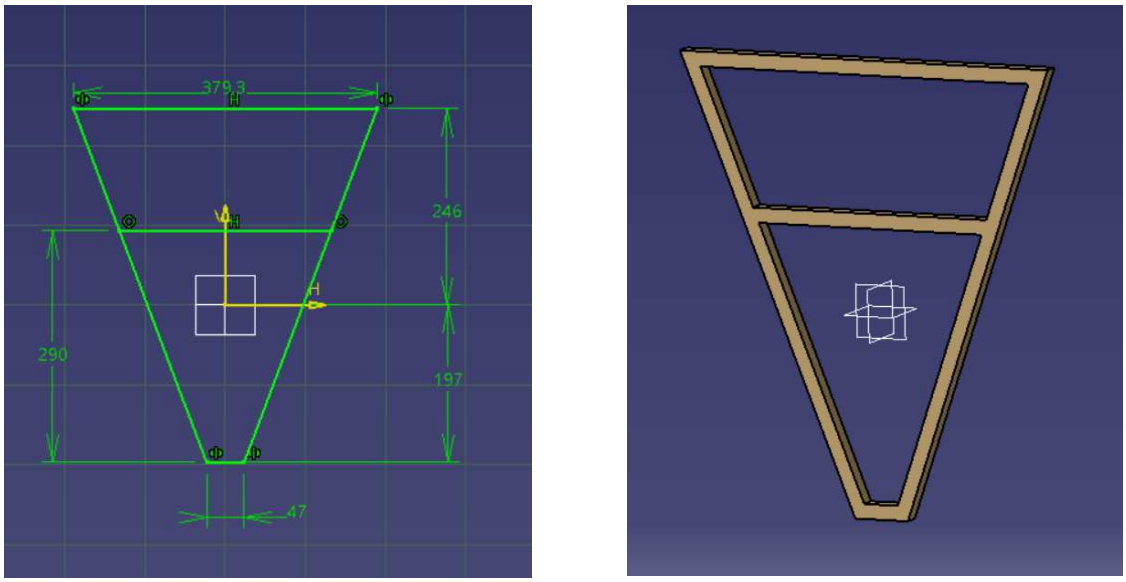


Figura 4-28. *Sketch* de la cuaderna nº 5 y modelado en Catia

4.1.2.8 Cuaderna 6

La cuaderna nº 6 es la última que tiene refuerzo horizontal e incorpora en la parte superior un perfil semicircular que irá aumentando su diámetro hasta llegar a la cuaderna donde se alojará el asiento y que simularía a un "reposacabezas".

A continuación se detalla tanto las medidas del perfil como el resultado final tras aplicar la orden *Pad* con el mismo espesor y ancho que en los casos anteriores:

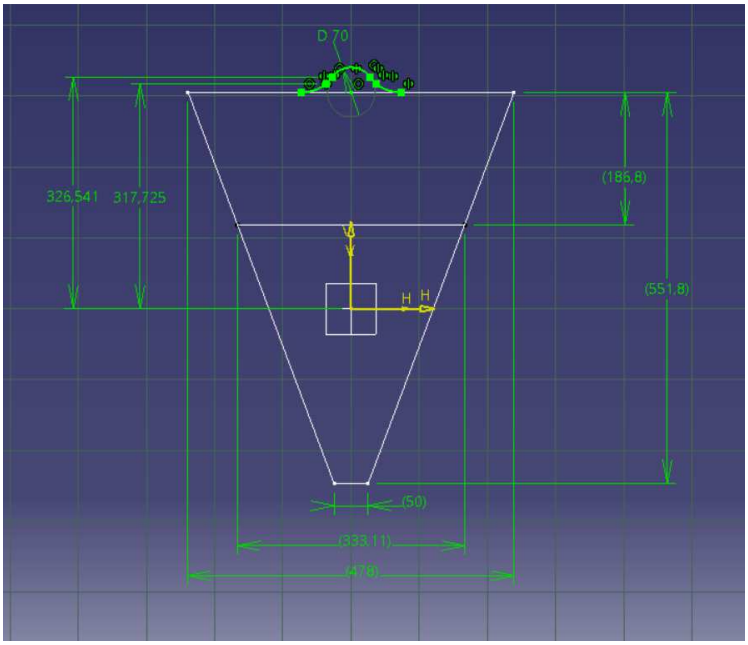


Figura 4-29. *Sketch* de la cuaderna nº 6

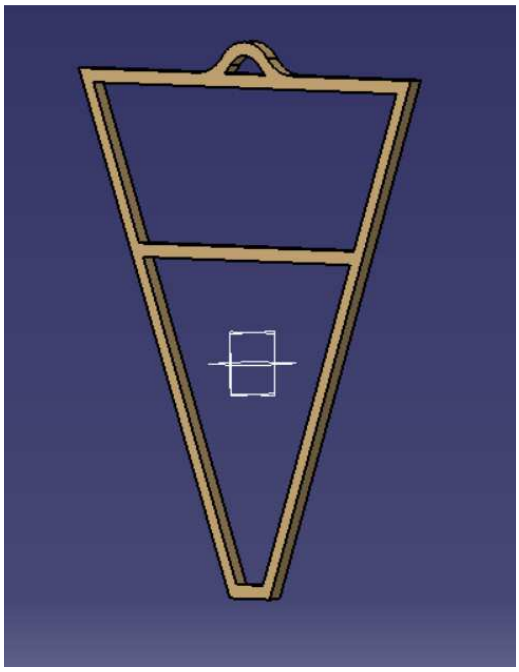


Figura 4-30. Modelado en Catia de la cuaderna nº 6

4.1.2.9 Cuaderna 7

En esta cuaderna, aumenta el diámetro de la parte semicircular superior hasta los 150mm:

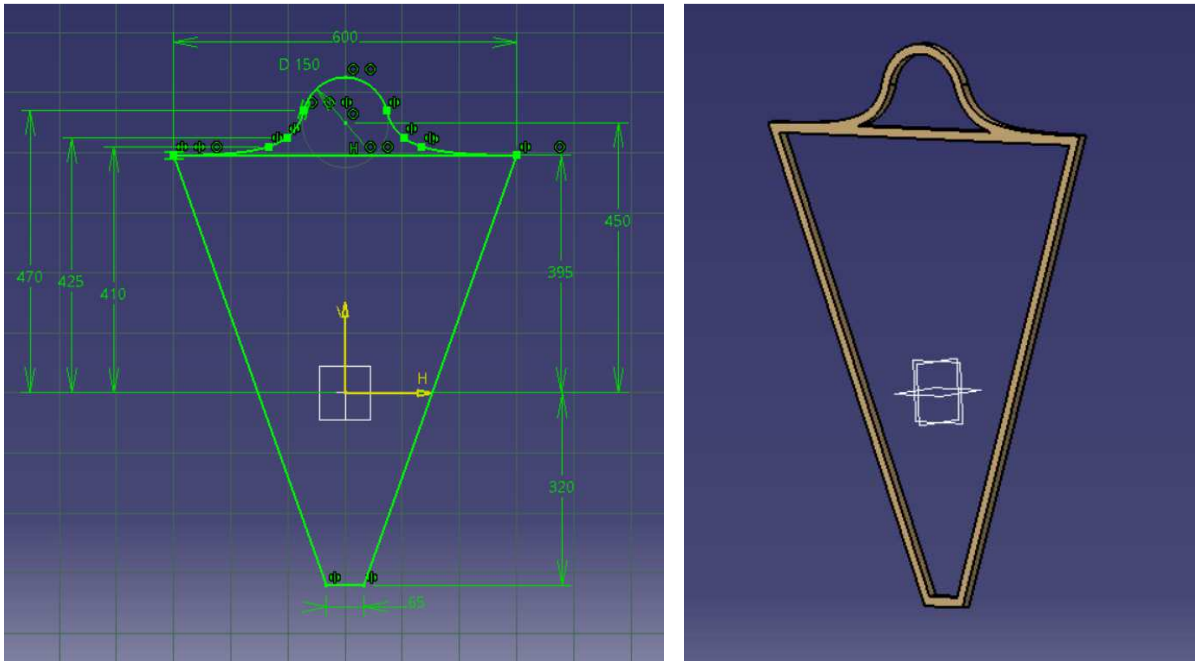


Figura 4-31. *Sketch* de la cuaderna nº 7 y modelado en Catia

4.1.2.10 Cuaderna 9

Esta cuaderna será en la que se apoye el asiento, y por tanto, la última de la parte trasera. Al posicionarla en el fuselaje, estará inclinada un ángulo de 7º. Siguiendo el mismo procedimiento que las anteriores se obtiene:

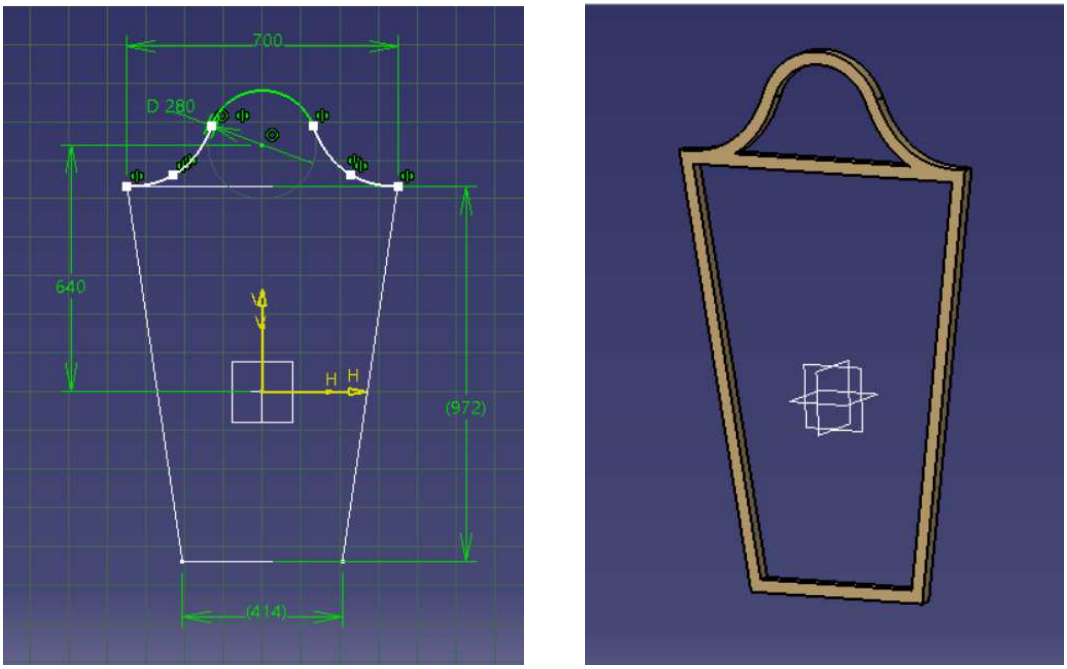


Figura 4-32. *Sketch* y modelo en Catia de la cuaderna nº 9

4.1.2.11 Cuaderna 11

Hemos obviado la costilla nº 10 ya que se ha comprobado que en uno de los planos aparece y en el otro no, y como debería ser abierta por encontrarse en mitad de la cabina del piloto, no tiene ninguna función de soporte de fuerzas estructurales.

Por tanto, la cuaderna nº 11 es la primera que nos encontramos en la parte delantera. Esta ya tiene prácticamente una forma rectangular e incorporará en su parte superior, al igual que la cuaderna nº 12, el alojamiento del motor. Como solo tenemos la forma y las medidas de la sección del perfil, hemos supuesto que tendrá los refuerzos de madera diagonales y los mismos refuerzos metálicos que la cuaderna nº 12, ya que el perfil donde se aloja el motor del Ansaldo se mantendrá con la misma altura (de 712,5mm sobre el plano horizontal) y radio (de 215mm) hasta la costilla final (la nº 17).

Se le han realizado los mismos redondeos a las esquinas interiores que unen a los listones diagonales con la estructura que en el caso de la cuaderna 12, con un radio de 10mm.

En la Figura 4-33 se muestran las medidas tomadas en el *Sketch*.

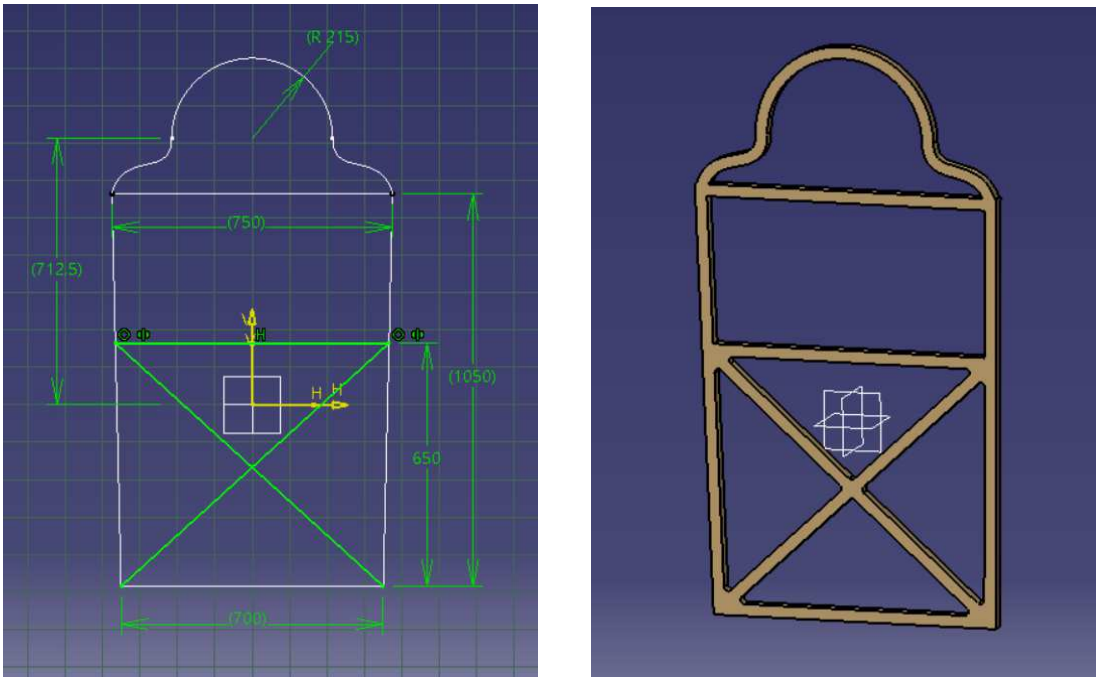


Figura 4-33. *Sketch* y modelo en Catia de la cuaderna nº 11

4.1.2.11.1 Refuerzos superior e inferior

Como se ha comentado, esta cuaderna también tiene refuerzos metálicos, que tendrán la misma forma que los de la nº 12, de los que disponemos los planos. Las medidas de estos, se adaptarán a las de la cuaderna, manteniendo el diámetro de los taladros.

El modelo de la cuaderna en Catia con los refuerzos y tornillos será:

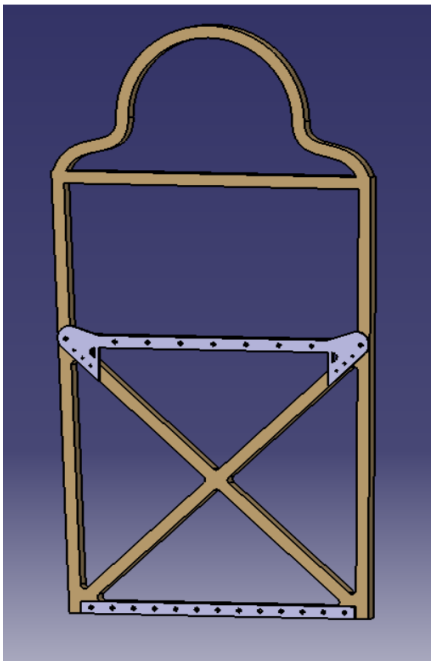


Figura 4-34. Cuaderna nº 11 con refuerzos y tornillos

4.1.2.12 Cuaderna 14

La cuaderna 14 se modelará igual que la anterior y que la nº 12 y por tanto, no nos centraremos en su diseño. Se muestran a continuación las medidas con las que se ha diseñado y el modelo final en Catia, incluidos los refuerzos y tornillos, que vuelven a ser de la misma métrica:

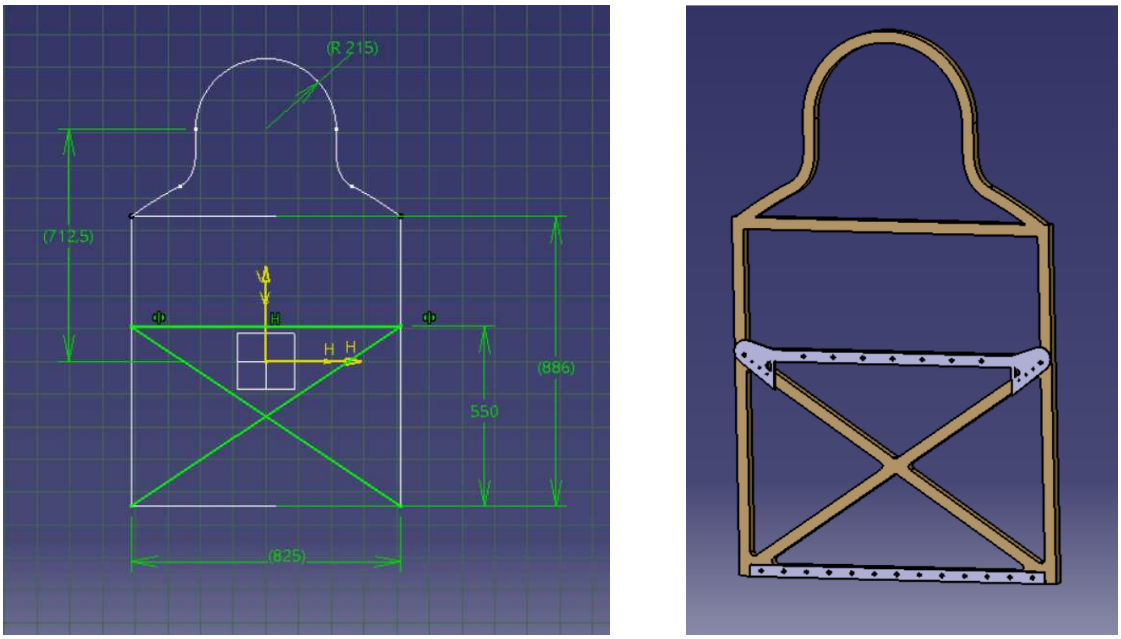


Figura 4-35. Sketch de la cuaderna nº 14 y modelo en Catia con refuerzos

4.1.2.13 Cuaderna 15

Estructuralmente, es muy parecida a las que le preceden, ya que posee dos listones diagonales de refuerzo y otro horizontal, pero en este caso no tendrá refuerzos metálicos. De nuevo se muestra tanto el *Sketch* como el resultado final tras aplicarle el ancho y espesor de 30mm:

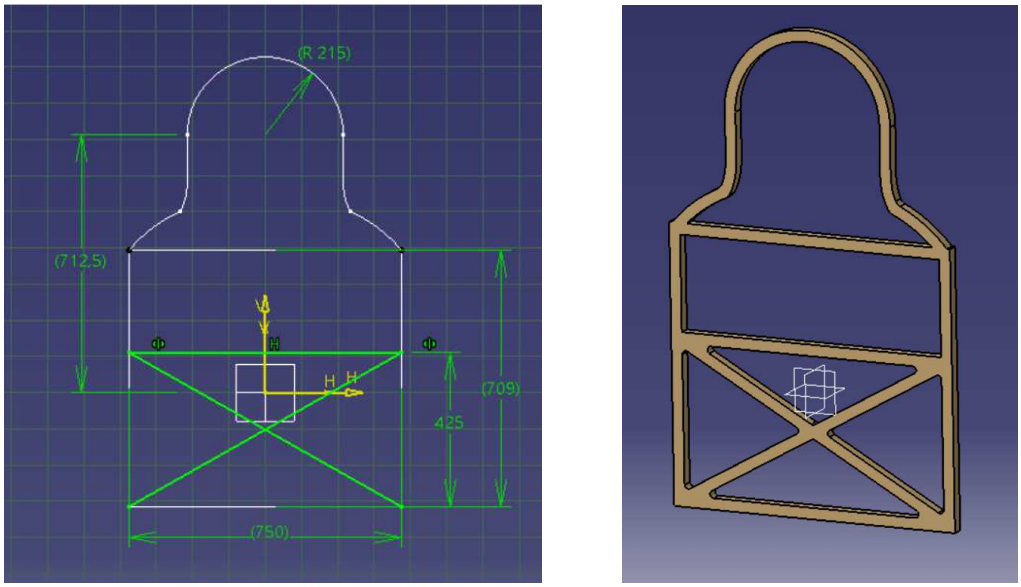


Figura 4-36. *Sketch* de la cuaderna nº 15 y modelo de la misma en Catia

4.1.2.14 Cuaderna 17

Esta es la última cuaderna que hemos diseñado y es la que va unida directamente al morro del avión en el cuál se encuentra la hélice. Hemos supuesto que no tendrá refuerzos diagonales, ya que las solicitaciones que soporta la estructura son menores.

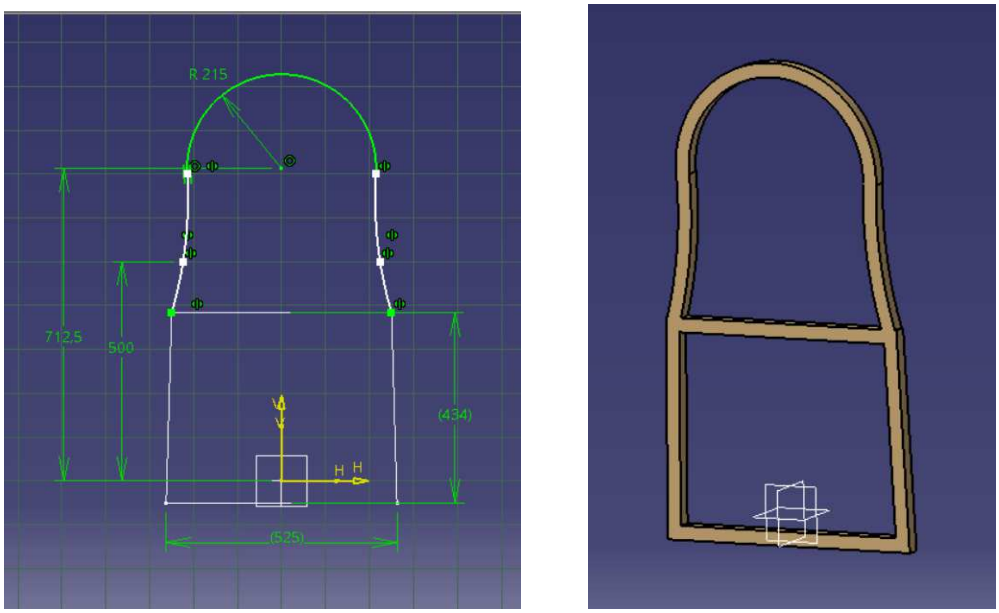


Figura 4-37. *Sketch* de la cuaderna nº17 y modelo en Catia de la misma

4.1.3 Posicionamiento de las cuadernas

La distancia entre cuadernas se puede apreciar en la Figura 4-1, en la que también puede observarse la inclinación de la cuaderna nº 9 que aloja el asiento del piloto. Esta inclinación, tras realizar varias mediciones, se ha calculado que es de 7º.

Las cuadernas se han diseñado de tal forma, que solo hay que posicionarlas con la distancia correspondiente entre los planos X-Y mediante *Offset*, haciendo coincidentes los otros dos planos entre ellos (planos X-Z e Y-Z) con la *Constraint* llamada *Coincidence*. La cuaderna que se hará fija y respecto a la cual se colocarán las demás es la cuaderna 12.

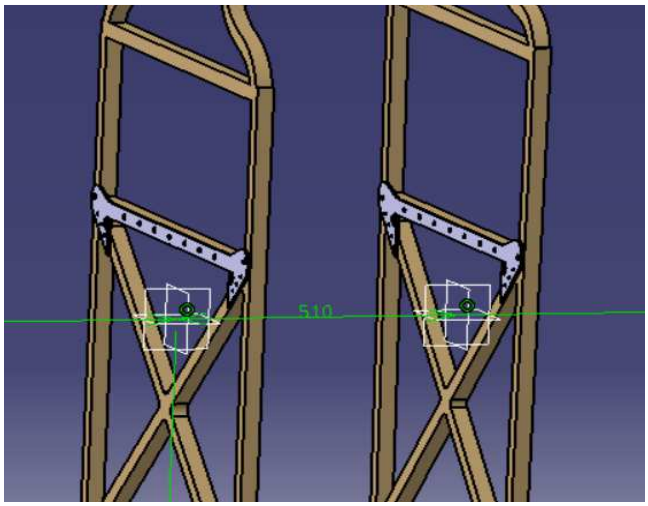


Figura 4-38. *Constraint de Offset* entre cuadernas 11 y 12.

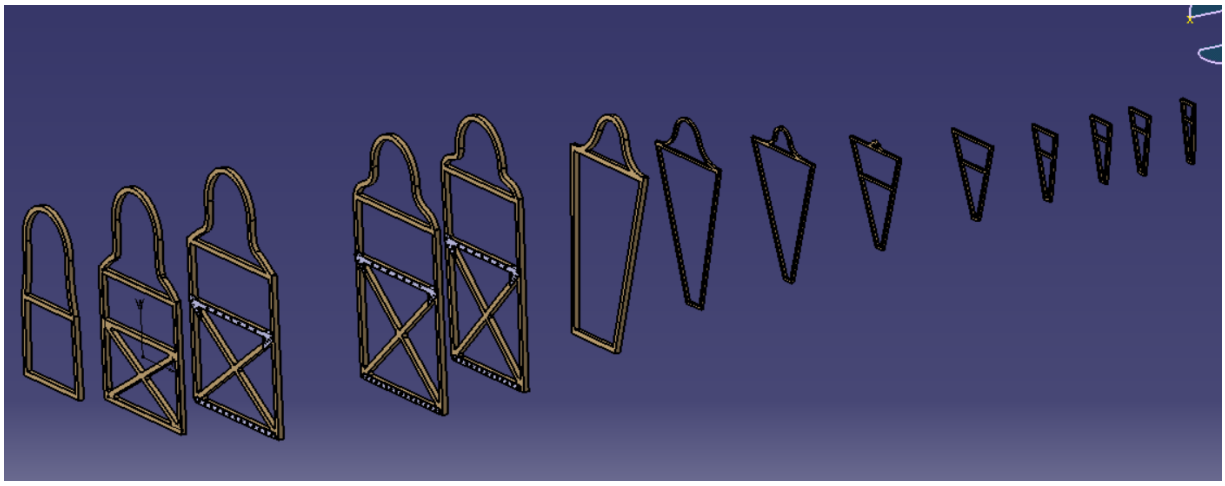


Figura 4-39. Posicionamiento de las cuadernas

4.1.4 Unión de las cuadernas mediante largueros horizontales y diagonales

Tras posicionar las cuadernas procederemos a la creación de los largueros que darán forma a la estructura principal. Se dividen en largueros horizontales y largueros diagonales, y su posicionamiento viene detallado en la Figura 4-1.

Los largueros horizontales son cuatro, y unen todas las cuadernas entre sí. En cambio, los largueros diagonales, unen las cuadernas una a una y habrá un total de 24 listones. La forma del perfil de estos largueros será cuadrada.

El procedimiento será crear *Sketch* de cuadrados de 30x30mm en las esquinas de los perfiles rectangulares y trapezoidales de las cuadernas y con la orden *Multi-Sections Solid* dar forma a los largueros seleccionando los *Sketch* de cada cuaderna.

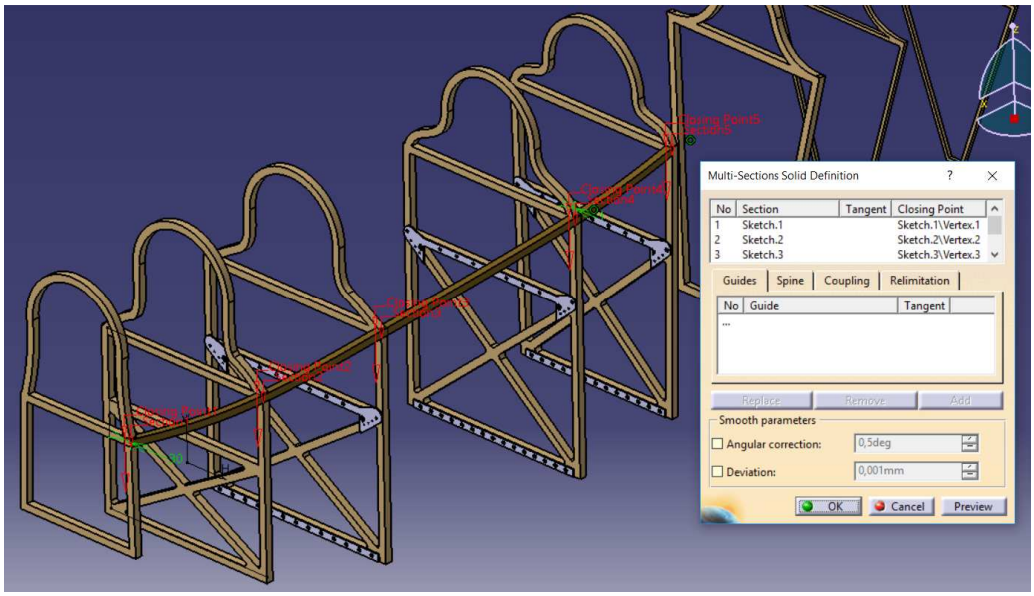


Figura 4-40. Larguero horizontal creado mediante *Multi-Sections Solid*

Los largueros diagonales se modelarán de la misma forma, aunque los perfiles cuadrados de la zona trasera se reducirán a 15x15mm. Entre las cuadernas 1, 2 y 3 no habrá este tipo de largueros. Y entre la cuaderna 12 y 14 habrá doble-larguero en forma de cruz, ya que deberán soportar mayor carga debido a que en esta zona se encuentran el centro de gravedad del motor.

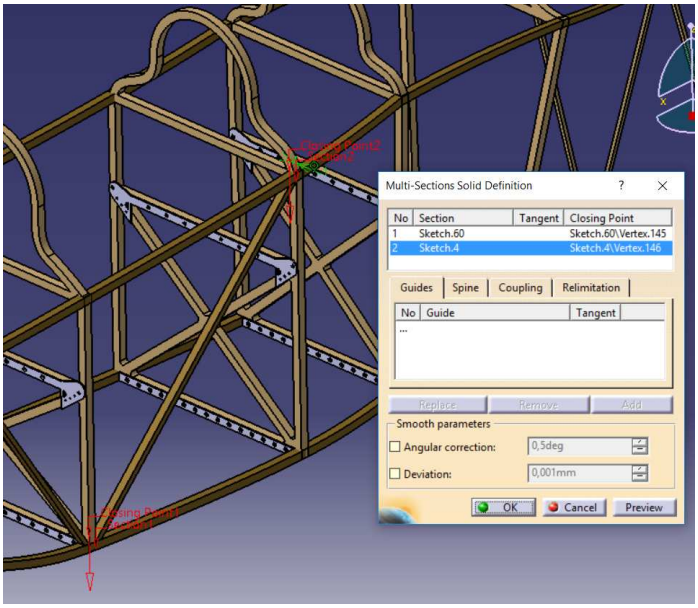


Figura 4-41. Larguero diagonal creado mediante *Multi-Sections Solid*

Al finalizar el modelado de todos los largueros, queda definida la estructura principal del fuselaje, la cual le dará la forma a este.

El resultado que se obtiene se muestra a continuación en dos vistas distintas, una del perfil lateral y otra desde un ángulo en el que se aprecian todos los largueros y cuadernas construidos:

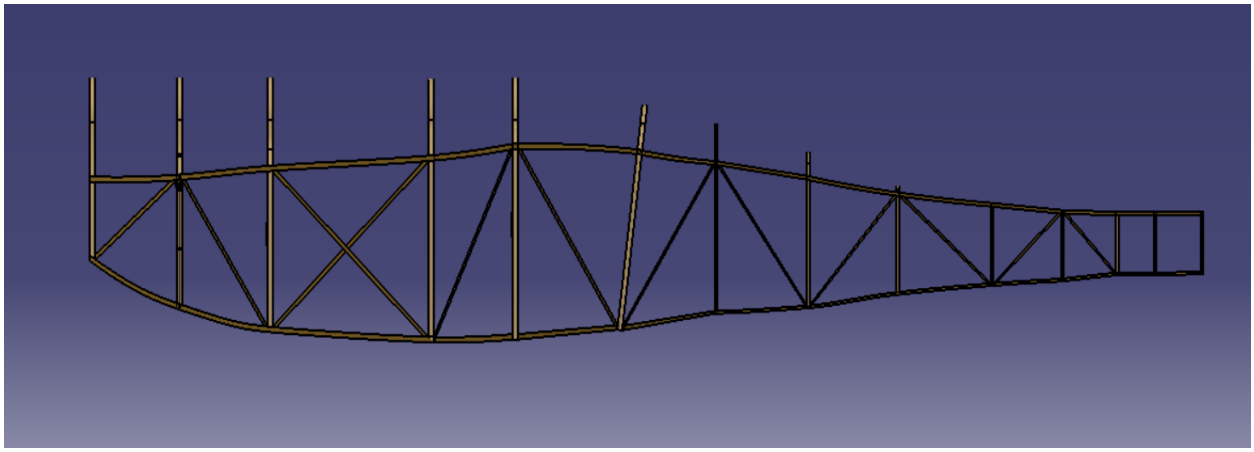


Figura 4-42. Perfil lateral de la estructura principal del fuselaje

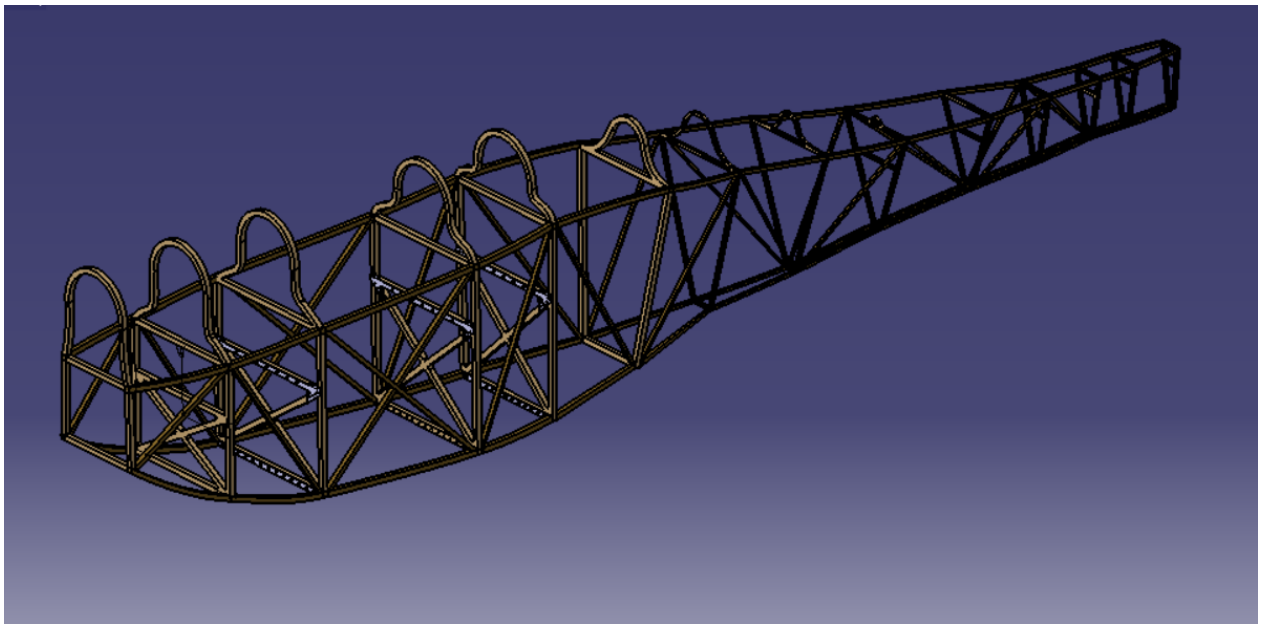


Figura 4-43. Estructura principal del fuselaje

4.1.5 Cubierta del fuselaje

La cubierta se creará en el modulo de *Generative Shape Design* a partir de superficies. Estas superficies se generarán con la orden *Multi-Sections Surface,* tomando como referencias la silueta extraída del borde exterior de cada una mediante el comando *Multiple Extract* y guiándolo mediante *Coupling*.

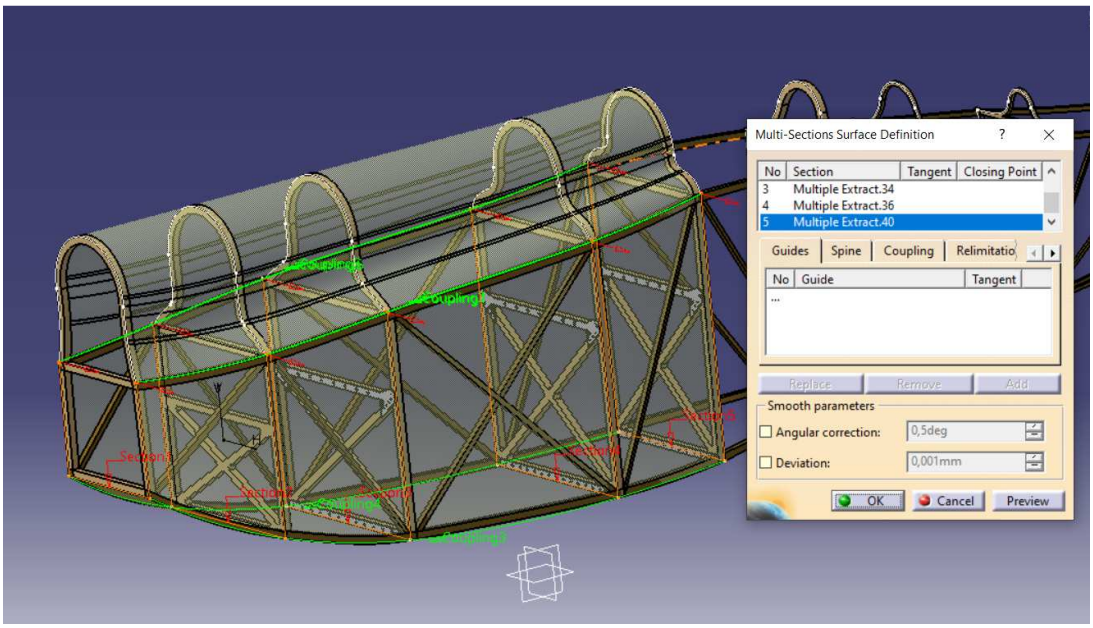


Figura 4-44. *Multi-Sections Surface* en la parte delantera del avión.

Tras crear las superficies, le daremos un espesor de 6mm a cada una con la orden *Thickness*.

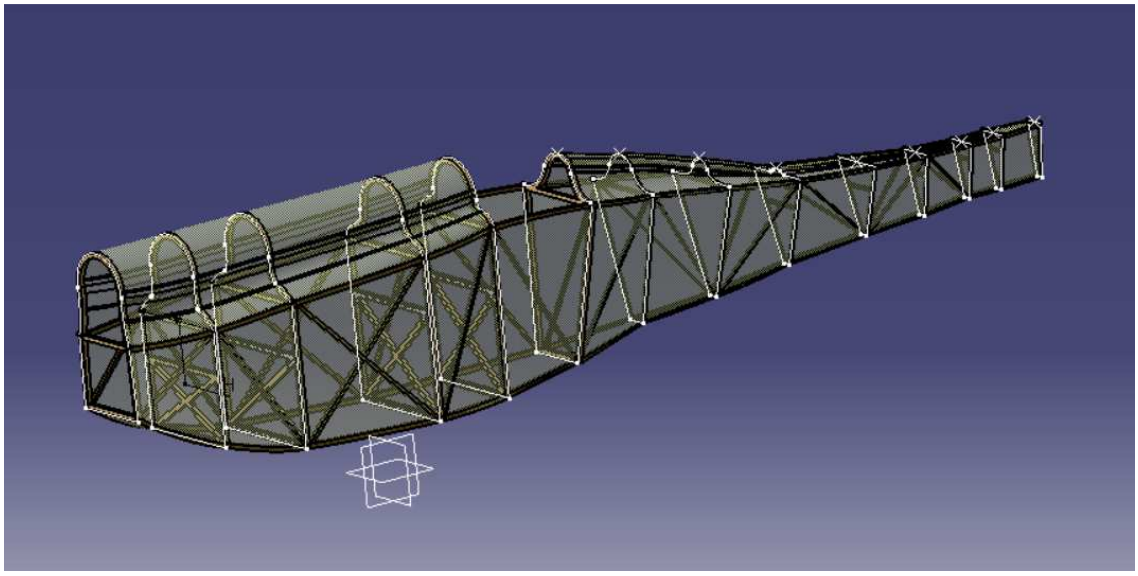


Figura 4-45. Cubierta del fuselaje sin espesor

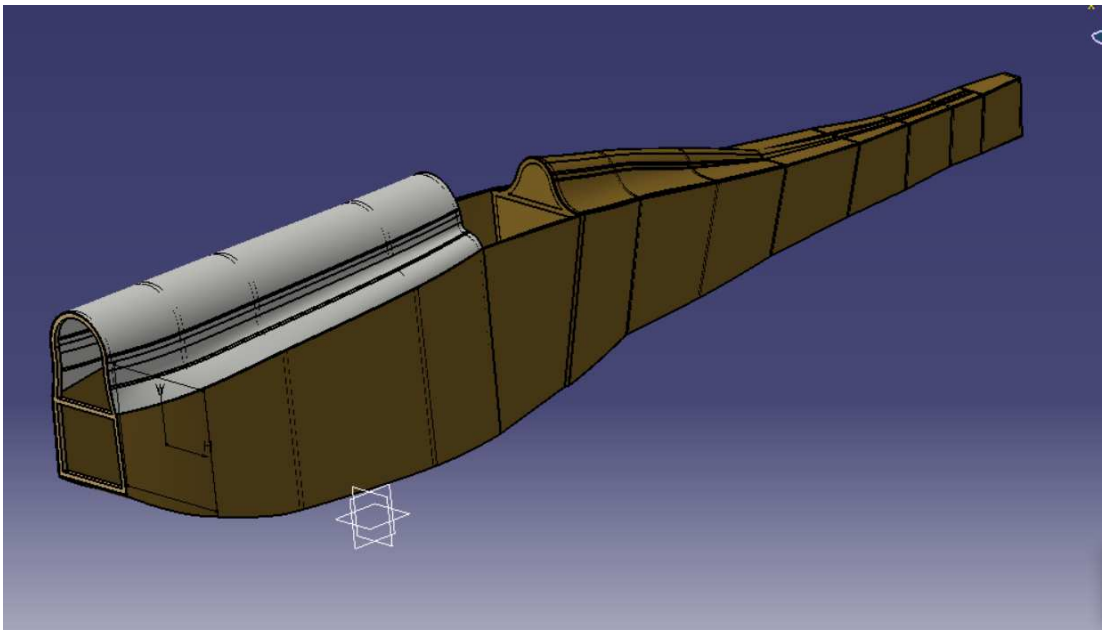


Figura 4-46. Cubierta del fuselaje completo tras aplicarle un espesor de 6mm

4.1.5.1 Cubierta del motor

La cubierta del motor tendrá varios tubos de escape de gases, así como orificios cuya misión es dejar escapar el calor creado por este mientras está en funcionamiento.

Los tubos de escape se modelarán mediante la orden *Pad* aplicada a una circunferencia de diámetro 50mm, con un *Thickness interior* de 3mm. A este sólido le haremos un *Pocket* triangular en el extremo final para que tenga la forma deseada. Tras ello, realizamos un *Rectangular Pattern* para obtener los demás.

Los respiraderos se los haremos igualmente con la orden *Pocket* tras dibujar un *Sketch* de forma triangular sobre la superficie de la carcasa en las zonas en las que se aprecian en la foto, con una distancia entre ellos de 100mm.

Figura 4-47. Carcasa del motor real

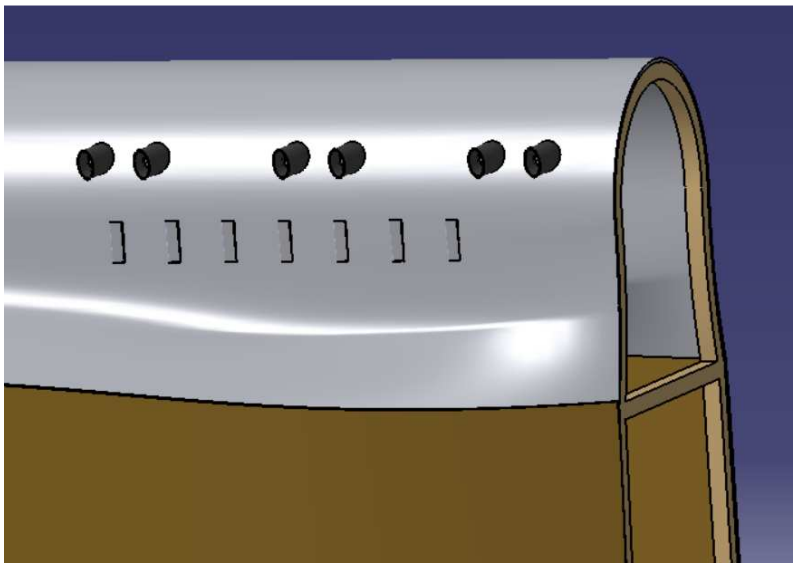


Figura 4-48. Carcasa del motor modelada en Catia

4.2 Conjunto alas

El ala es el elemento esencial para que el avión pueda volar ya que son las encargadas de crear sustentación, debido a la cual el avión puede vencer al peso creado por la gravedad y así hacer que se eleve.

En este caso, el avión dispone de una configuración de doble ala, también llamado biplano. Esta configuración es típica en el diseño de los primeros aviones y fue la más utilizada en las aeronaves que operaron en la Primera Guerra Mundial, aunque años después se demostraría que eran poco eficientes y se dejaron paulatinamente de usar y fabricar.

Los planos que poseemos con las medidas tanto del ala alta como del ala baja vienen con el suficiente detalle como para poder modelarla sin apenas realizar suposiciones. A continuación se muestran estos:

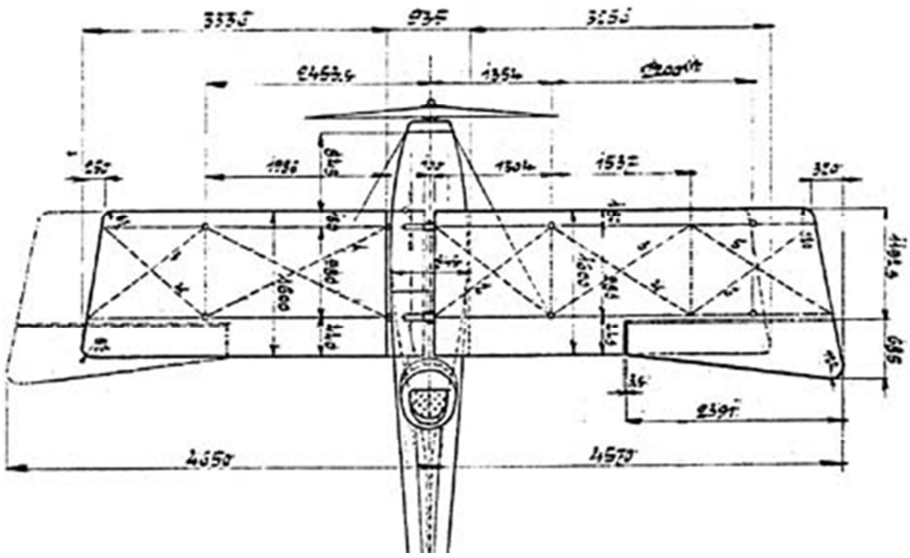


Figura 4-49. Planos de ala alta y ala baja.

4.2.1 Ala alta

Lo primero que debemos hacer para modelar el ala es encontrar el perfil de las costillas de estas, ya que le darán la forma aerodinámica adecuada para que cumpla con la función de crear sustentación.

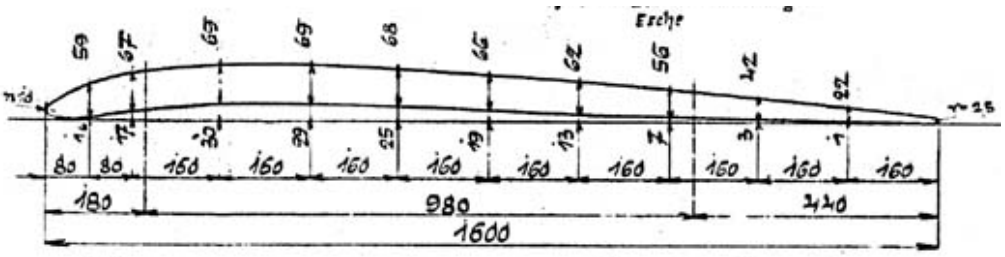
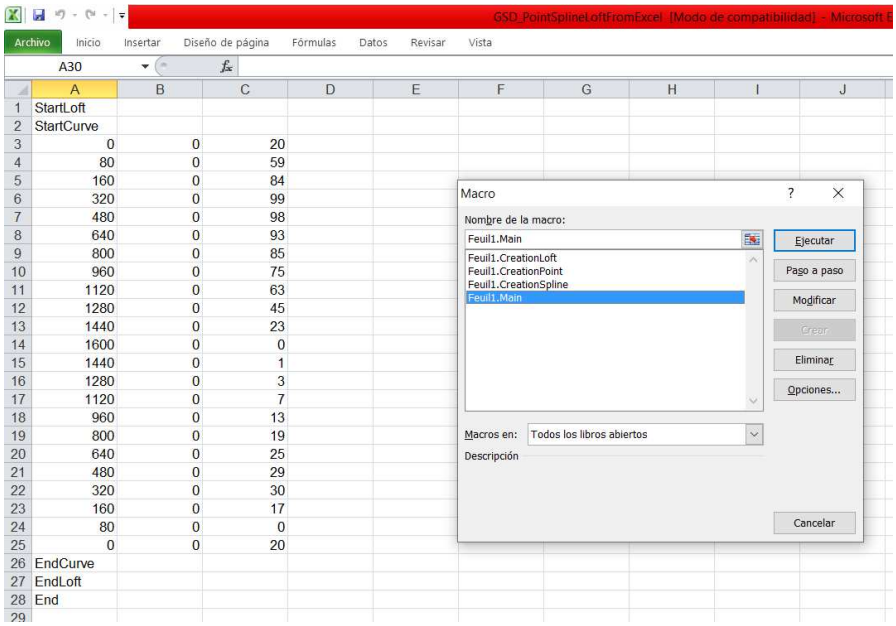


Figura 4-50. Plano del perfil de ala

El método que se sigue para crear el perfil es:

1º) Nos dirigimos al directorio en el que se encuentra la carpeta con el programa instalado, y ahí tras clicar primero en la carpeta *intel_a* y después *code*, nos metemos en *command* y copiamos el archivo tipo EXCEL llamado *"GSD_PointSplineLoftFromExcel"*.

2º) Abrimos el archivo y pondremos las coordenadas de nuestro perfil de la siguiente forma:



	A	B	C
1	StartLoft		
2	StartCurve		
3	0	0	20
4	80	0	59
5	160	0	84
6	320	0	99
7	480	0	98
8	640	0	93
9	800	0	85
10	960	0	75
11	1120	0	63
12	1280	0	45
13	1440	0	23
14	1600	0	0
15	1440	0	1
16	1280	0	3
17	1120	0	7
18	960	0	13
19	800	0	19
20	640	0	25
21	480	0	29
22	320	0	30
23	160	0	17
24	80	0	0
25	0	0	20
26	EndCurve		
27	EndLoft		
28	End		

Figura 4-51. Introducción de las coordenadas en el EXCEL *"GSD_PointSplineLoftFromExcel"*.

3º) Nos dirigimos a la pestaña *Vista* y pulsamos *Macros* y dentro de ella a *Ver Macros.* Tras esto, elegimos la opción *Feuil1.Main* y Ejecutamos. Nos dan varias opciones, y en este caso hemos optado por crear Puntos y Spline pulsando el número 2.

El perfil se genera en Catia de la siguiente forma:

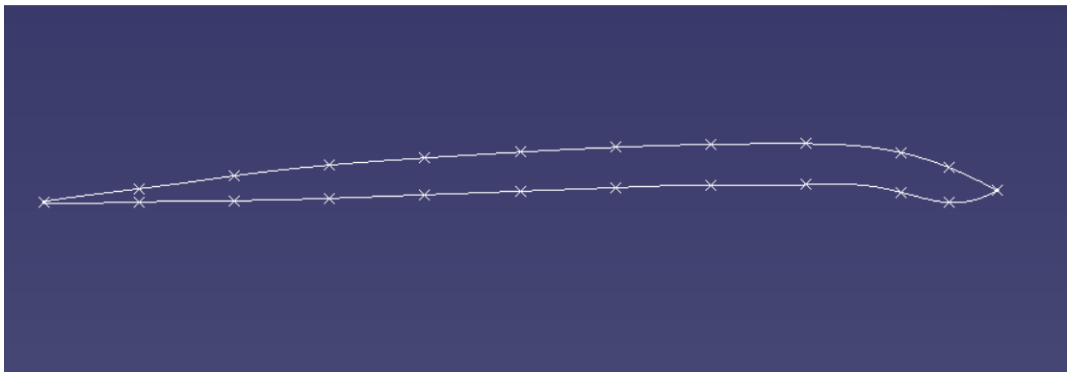


Figura 4-52. Contorno del perfil alar en Catia

A este perfil le realizaremos un *Pad* de 20mm aplicándole *Mirrored Extent* y tras ello un *Rectangular Pattern* tanto a un lado como al otro de 19 copias a una distancia de 222,63 mm entre ellas.

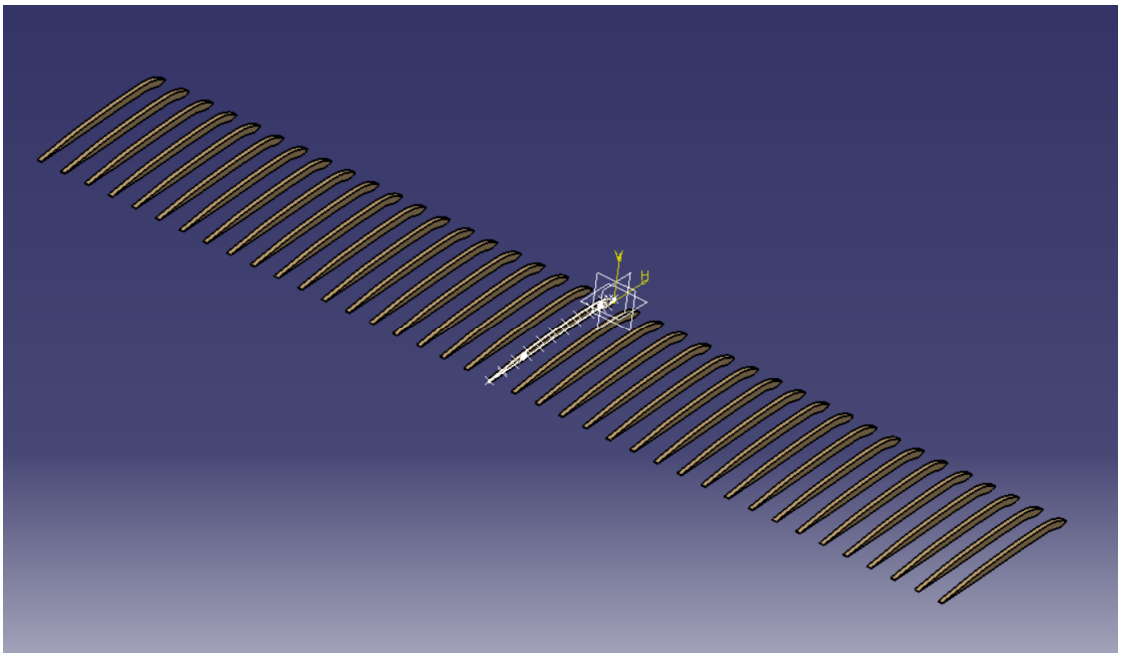


Figura 4-53. Costillas del Ala alta

Para unir estas costillas utilizaremos dos largueros horizontales que recorrerán toda la estructura y le darán consistencia: uno cerca del borde de ataque y uno prácticamente en el borde de salida. En la figura 4-54 se puede observar la forma y las medidas que se le han dado al perfil del larguero. Previamente se ha hecho un *Pocket* con las mismas medidas en las costillas del ala.

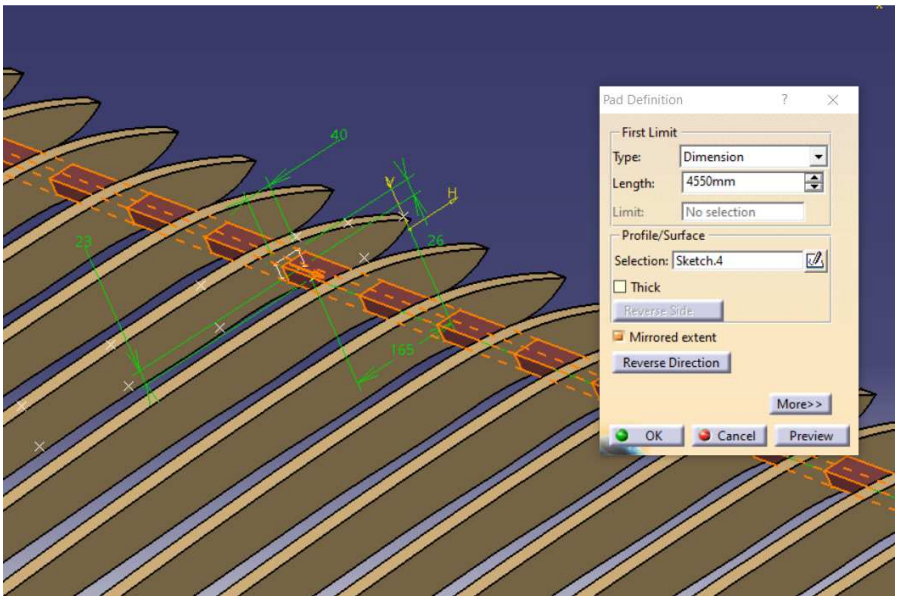


Figura 4-54. Larguero de borde de salida.

Tras la creación de los dos largueros queda de la siguiente forma:

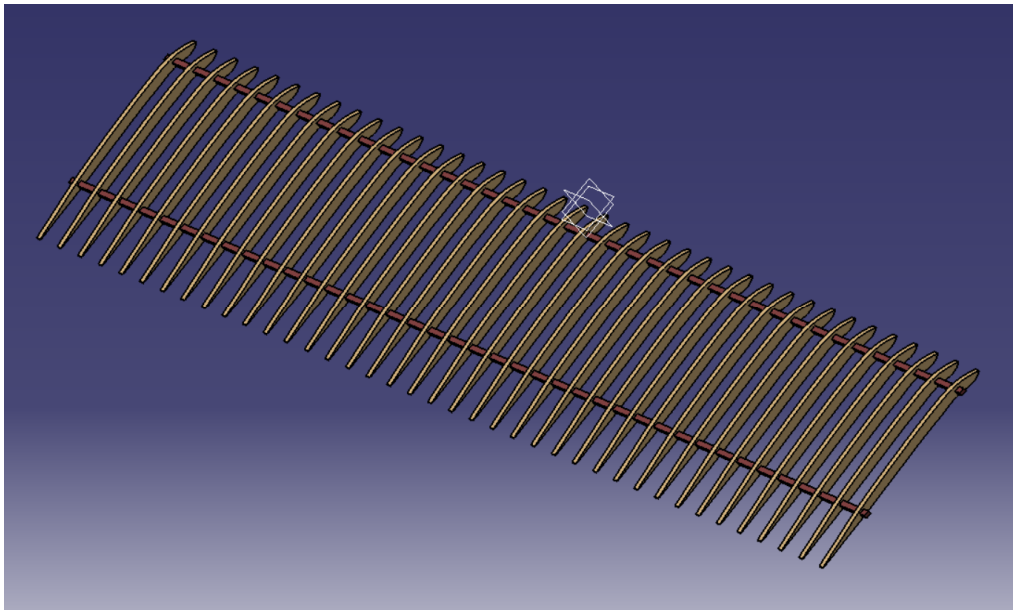


Figura 4-55. Perfiles de ala alta unidos mediante largueros

Tras esto se creará el recubrimiento del ala. Este recubrimiento será de tela tratada endurecida, un método muy utilizado en avionetas y cazas de la época. Se dotará de un *Thickness* de 5 mm hacia afuera, tomando el contorno de los perfiles alares como *Sketch* y se le dará una mayor longitud que la estructura de perfiles debido a que a continuación le haremos un *Pocket* para darle la forma real del ala*:*

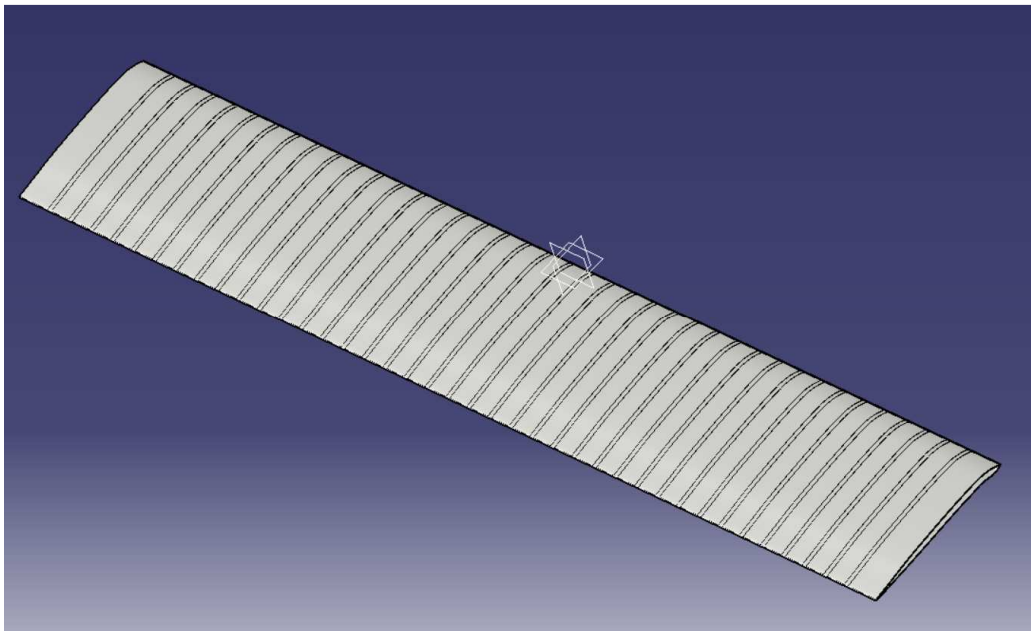


Figura 4-56.Recubrimiento del ala

Como hemos comentado, procederemos ahora a realizarle tres *Pocket:* uno rectangular en el centro por el cual se unirá al fuselaje, uno triangular en el extremo y otro rectangular en el borde de salida donde irán instalados los alerones.

En los nuevos bordes que se generan tras aplicarles la orden *Pocket* se pierde el recubrimiento, por lo que tendremos que realizar un *Fill* del contorno exterior y darle de nuevo un *Thickness* de 5 mm.

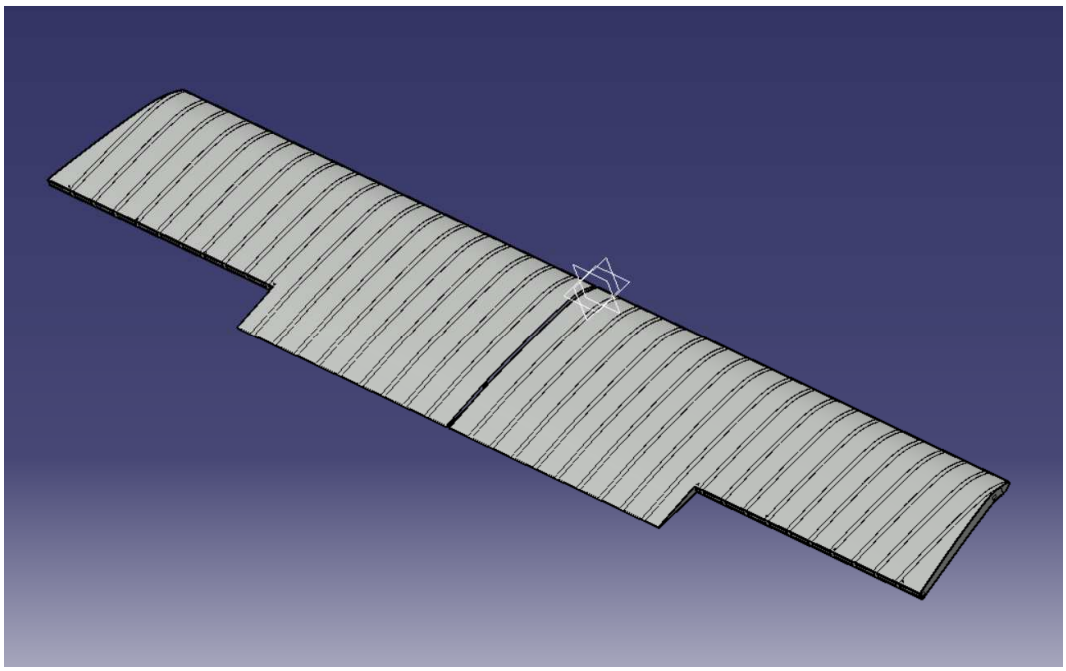


Figura 4-57. Ala alta con recubrimiento y *Pockets* realizados.

Por último le realizamos un *Pocket* semicircular de radio 385 mm en la parte central:

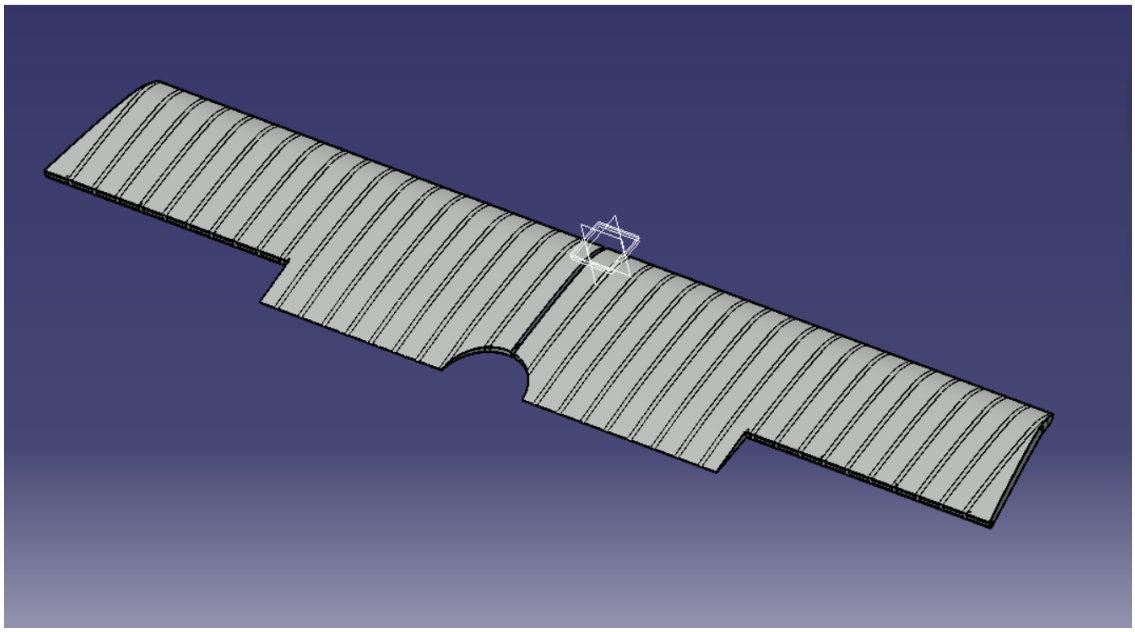


Figura 4-58. Modelo definitivo del ala alta

4.2.1.1 Alerones del ala alta

Los alerones son superficies de control que se encuentran en el borde de salida del ala y su cometido es aumentar la sustentación de una de las alas y disminuirla en la otra, permitiendo realizar un giro llamado "alabeo".

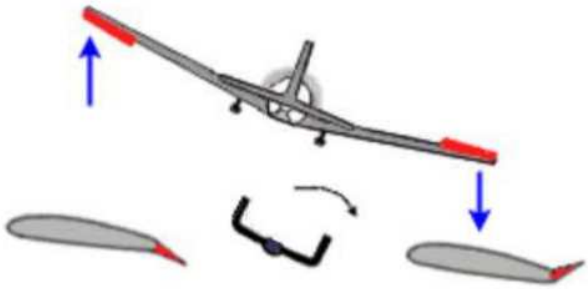


Figura 4-59. Funcionamiento de los alerones en un avión

El alerón del ala alta del Ansaldo SVA 5 es de tipo 'Punta de ala' y la forma de este se puede observar en la figura 4-49, en la que también aparecen sus medidas.

El perfil del alerón será la continuación del que tendría el ala en la zona en la que se ha realizado el vaciado aumentando las dimensiones de este hasta llegar al extremo.

Para modelar el alerón, primero hemos tomado el *Spline* creado mediante Excel tal y como se explicó anteriormente. A este *Spline,* se le le borrará la parte que pertenece al ala y nos quedaremos con la parte a la que hemos realizado el *Pocket*, la cual cerramos con una semicircunferencia. Así, obtenemos un nuevo perfil que será el que utilicemos para crear el alerón.

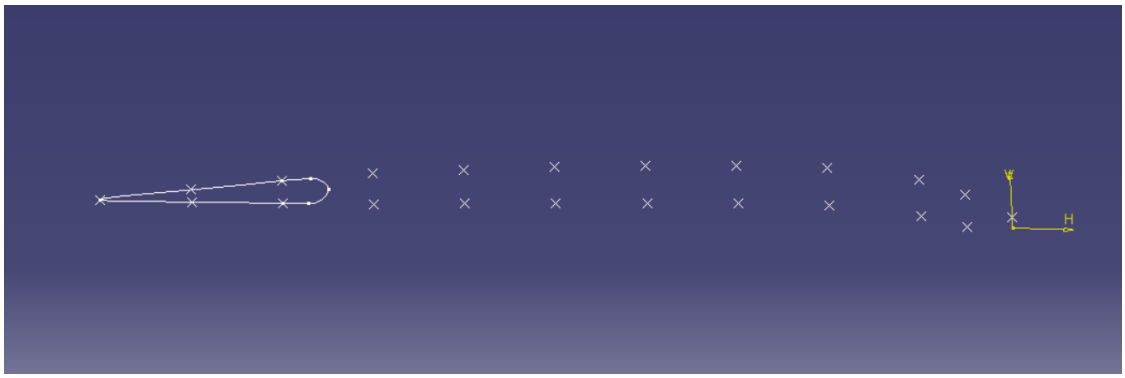


Figura 4-60. *Sketch* con la forma del alerón.

Pero, como hemos podido comprobar, el alerón va aumentando su tamaño. Esto se ha resuelto, creando un plano a una distancia de 2391 mm del plano del *Sketch* que acabamos de dibujar y proyectando en éste el contorno del perfil mediante la orden *Project 3D Elements*. A este contorno le haremos un escalado igual a la fracción entre la longitud al inicio del hueco (408 mm) y la longitud al final de este (685 mm) recogida en los planos con la herramienta *Scale*.

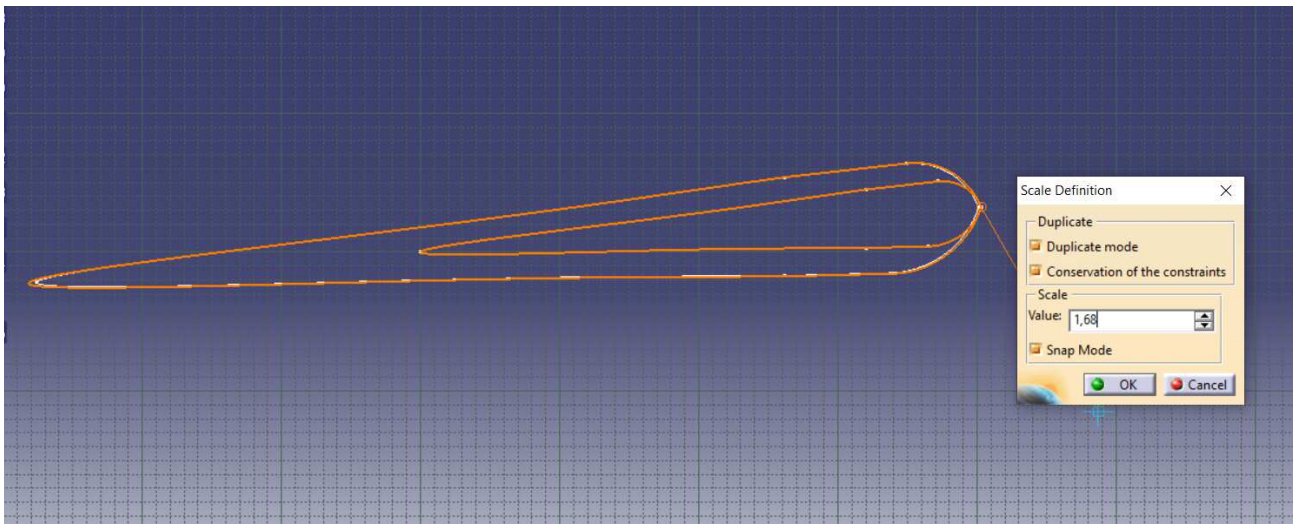


Figura 4-61. Orden *Scale* para crear el perfil del extremo del alerón.

Se utilizará la orden *Multi-Sections Solid* para crear un sólido compacto con la forma del alerón, y se le harán los vaciados correspondientes para obtener los perfiles que conformarán el alerón, los cuales tendrán un ancho de 20 mm. La última costilla estará inclinada, ya que hemos visto que el ala no tiene una terminación recta.

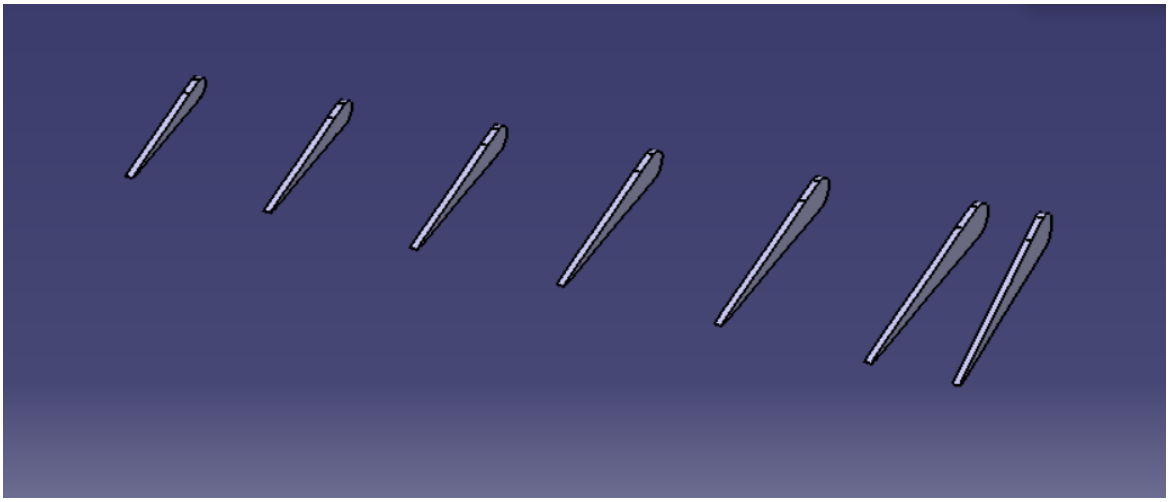


Figura 4-62. Costillas posicionadas del alerón del ala alta

Los alerones también tendrán dos largueros que los cruzan, y se crearán de la misma forma que los del ala, aplicando la herramienta *Multi-Sections Solid* entre rectángulos cerca del borde de salida y en el borde de ataque:

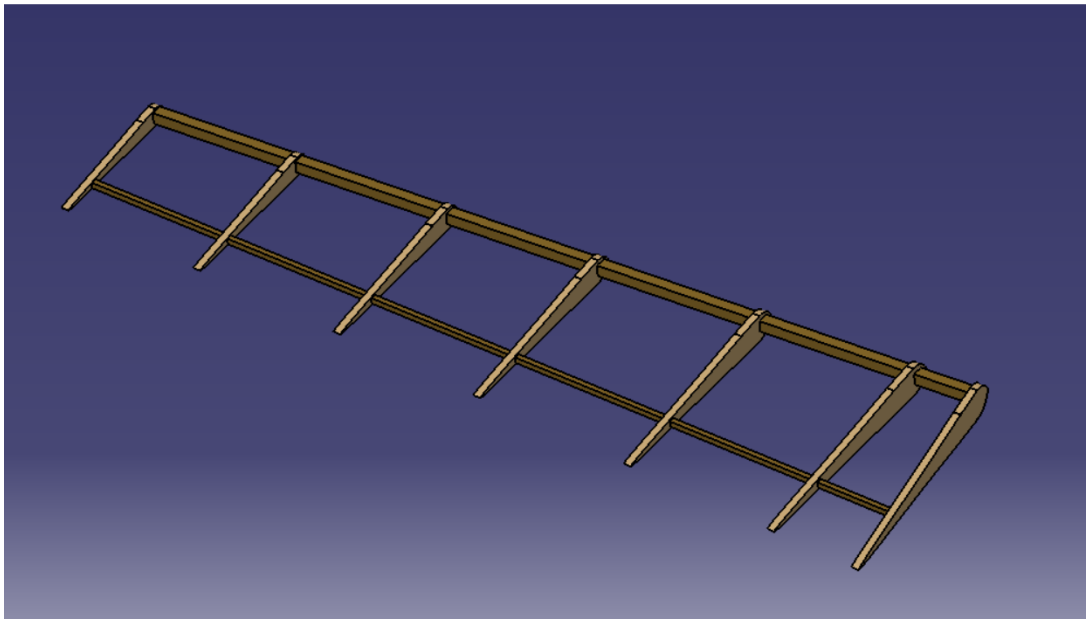


Figura 4-63. Costillas y largueros del alerón del ala alta.

Por último se recubre como en el caso del ala con un *Thickness* de 5 mm imitando a la tela que lo recubre en el caso real.

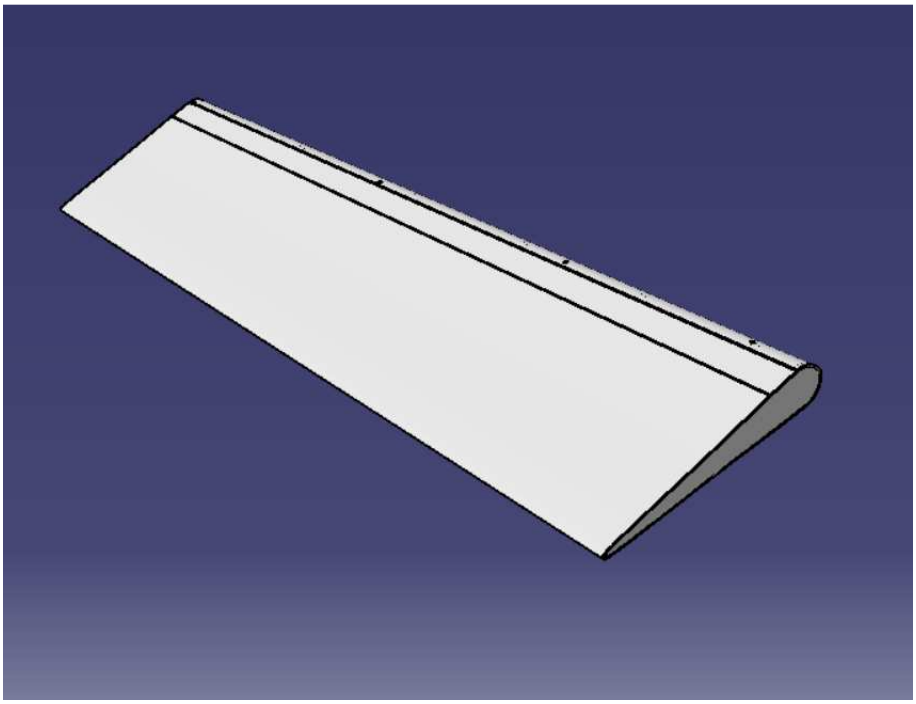


Figura 4-64. Alerón ala alta con recubrimiento

Colocamos los alerones en el hueco que hicimos previamente en el ala alta dejando una distancia de 5 mm entre ambas para que se permita el giro del alerón.

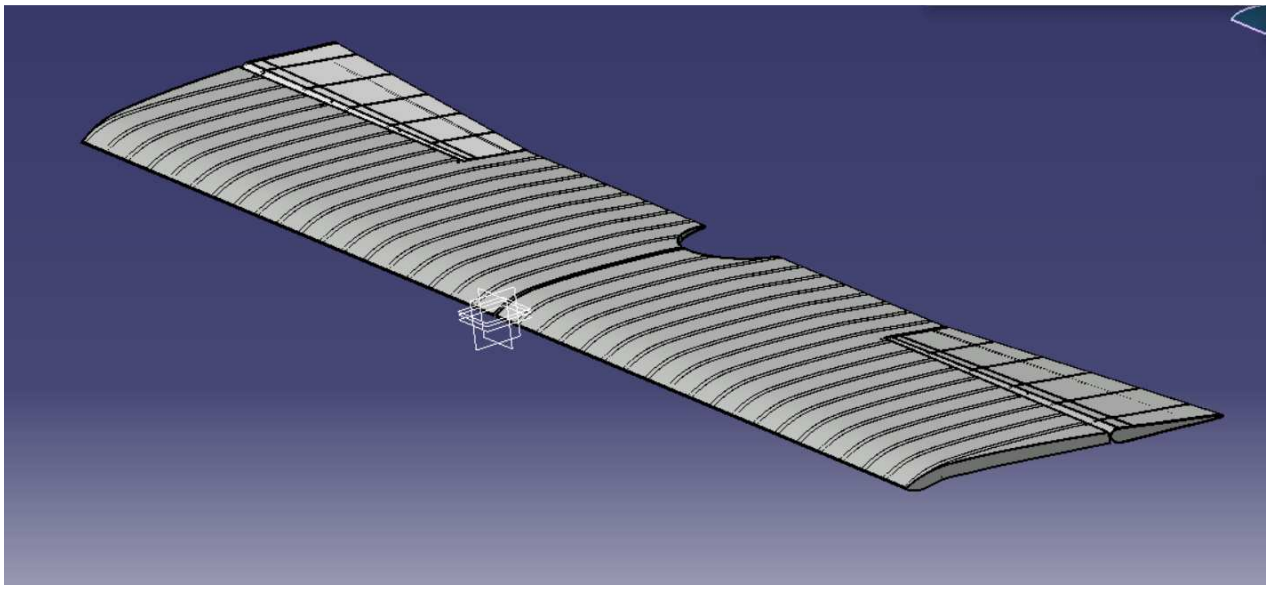


Figura 4-65. Ala alta completa.

La unión del alerón con el ala alta se materializa mediante uniones cuyo diseño se muestra a continuación. Este modelo se ha diseñado teniendo en cuenta las fotos de las que disponemos del ala del avión, ya que no se tienen planos ni medidas de estas uniones.

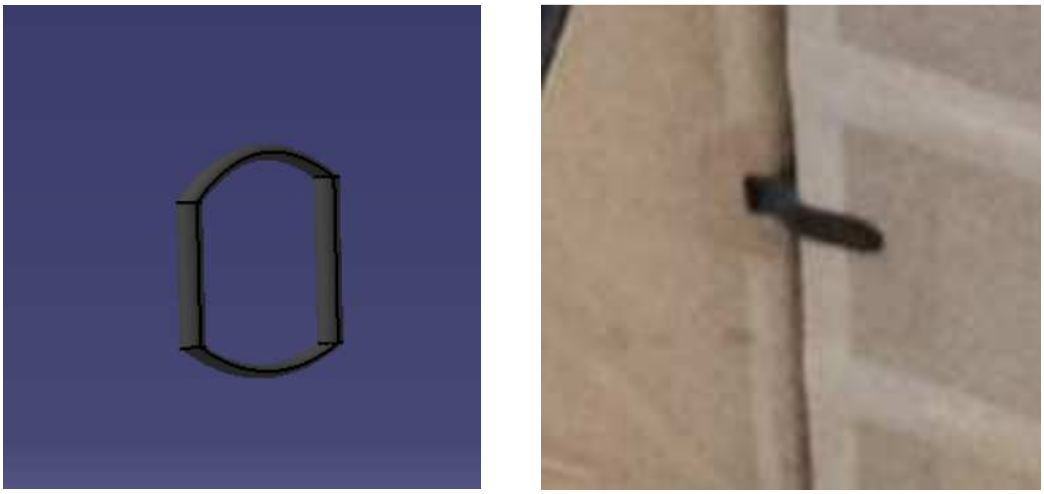


Figura 4-66. Unión entre alerón y ala alta.

4.2.2 Ala baja

El ala baja tiene el mismo perfil que el ala alta, y por tanto, nos sirven las medidas que se muestran en la Figura 4-50 y el método por el cual se obtiene el perfil en Catia.

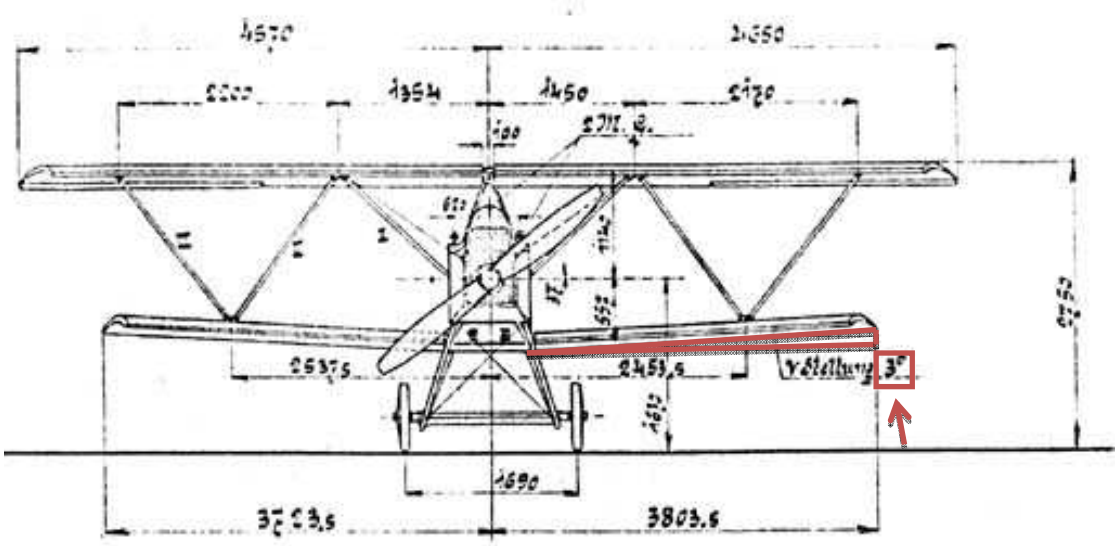
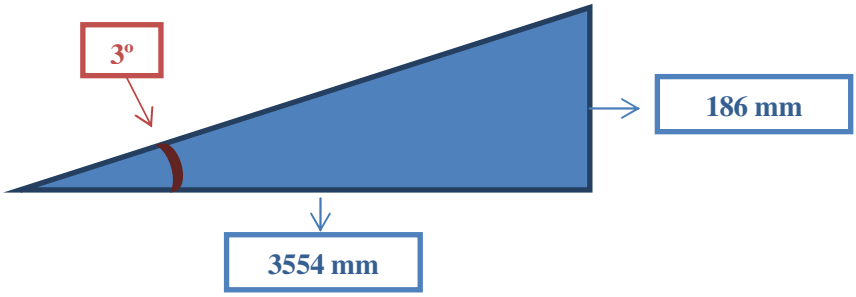


Figura 4-67. Ala baja con la inclinación indicada.

Esta ala, sin embargo, se diferencia del ala alta en que tiene una pequeña inclinación de 3º, y por tanto el perfil alar del extremo estará posicionado más arriba que el perfil central del que se parte. Para ello, crearemos otro *Sketch* a una distancia de 3554 mm subiendo cada punto del perfil 186 mm tras realizar los cálculos mediante un triángulo rectángulo:



Con estos *Sketch* realizamos un *Multi-Sections Surface* y lo intersectamos por 12 planos intermedios a una distancia entre ellos de 273'4 mm creando la silueta de todos los perfiles del ala baja, a los que posteriormente se les dará un espesor de 20 mm con la orden *Pad*.

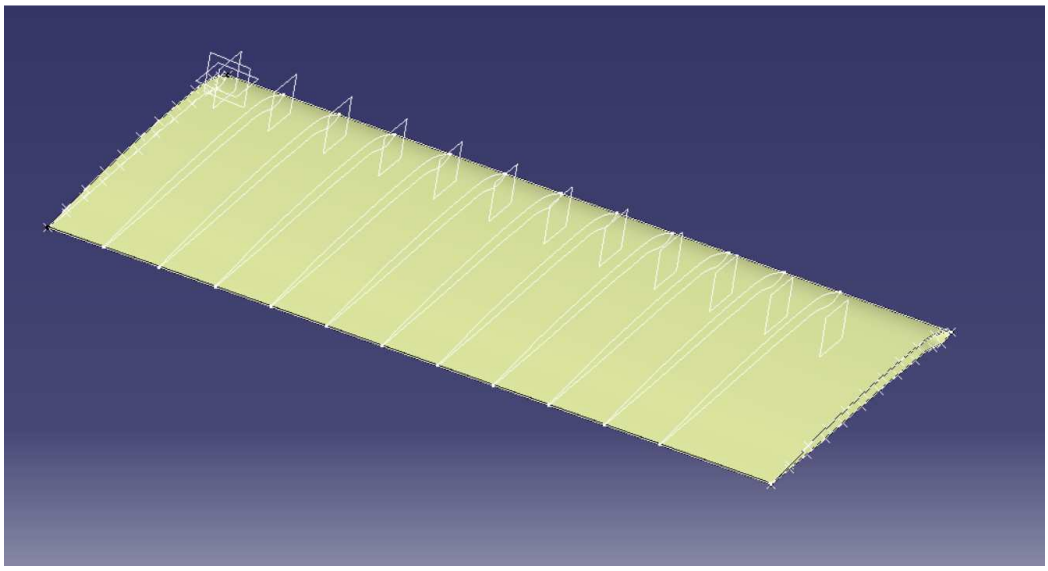


Figura 4-68. *Multi-Sections Surface* con perfiles intermedios creados con *Intersection*

A estas costillas se le hará un *Mirror* respecto al plano X-Z para crear las del otro semiala.

La costilla del extremo estará en una posición inclinada, al igual que en el caso del ala alta, por lo que proyectaremos el *Sketch* de la última costilla en un plano que posee la misma inclinación que el extremo del ala mediante la orden *Project 3-D Elements* dentro de un nuevo *Sketch*.

A esta nueva costilla le damos el mismo espesor de 20 mm que a las demás con un *Pad*.

El siguiente paso será crear los largueros, los cuales se vuelven a hacer con la orden *Multi-Sections Solid* entre dos *Sketch* rectangulares que se encontrarán en la costilla central y en la costilla del extremo.

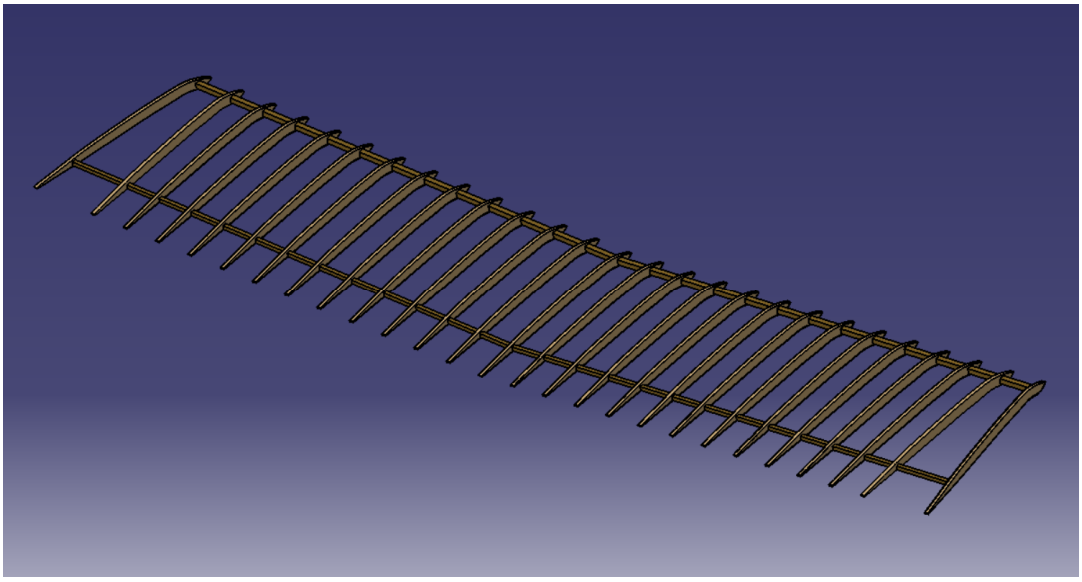


Figura 4-69. Estructura interna del ala baja con costillas y largueros

Las últimas acciones que realizamos de nuevo es el recubrimiento del ala con *Thick Surface* de 5 mm y un *Pocket* en la parte central que se corresponde al ancho del fuselaje a la altura en la que se encuentran las alas posicionadas respecto a éste, que en este caso será de 935 mm de ancho.

Teniendo esto en cuenta, el ala baja queda definitivamente:

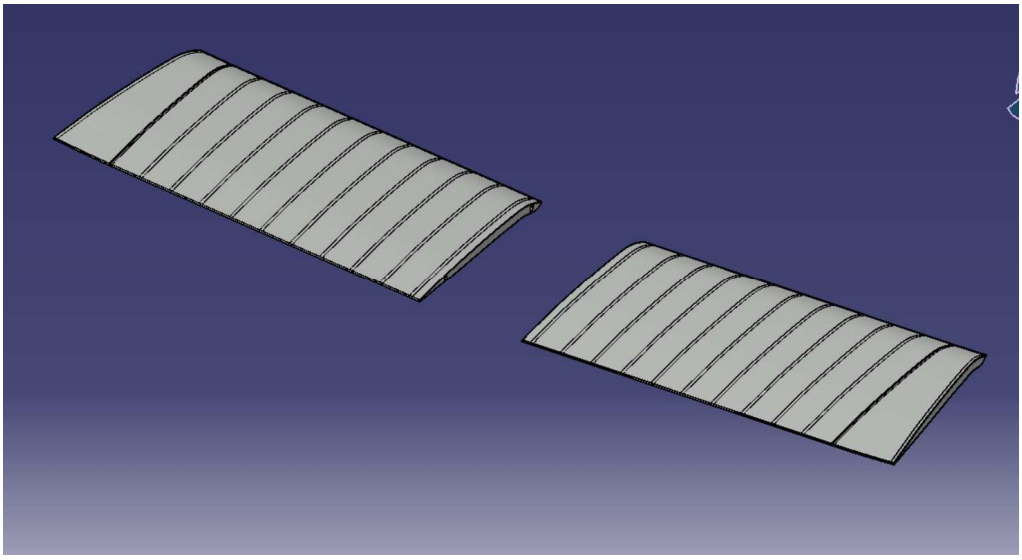


Figura 4-70. Ala baja con recubrimiento y *Pocket* realizado

4.2.3 Unión entre alas

Colocamos las alas a la distancia que aparece en los planos con *Offset*, en concreto, se puede observar la distancia en la Figura 4-66 que aunque no se distingue con claridad, es de 1650 mm entre las partes centrales de ambas, haciendo coincidir con la *Constraint Coincidence* los planos X-Z e Y-Z.

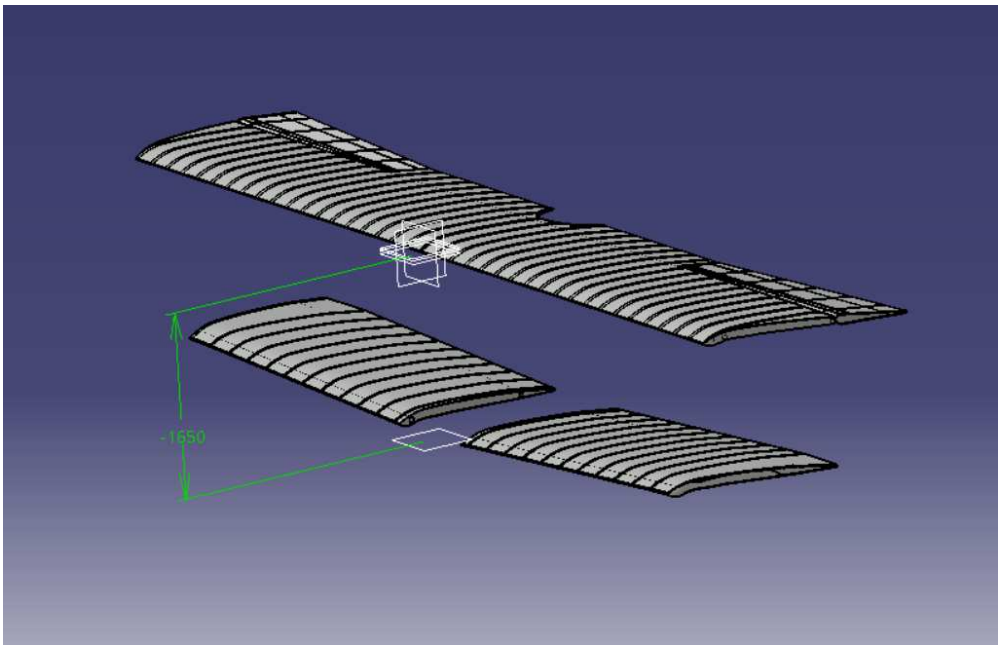


Figura 4-71. Posición del ala baja respecto al ala alta

Tras posicionar las alas de forma correcta, procedemos a dibujar el *Sketch* de las barras de unión entre el ala alta, el ala baja y el fuselaje con las medidas que se especifican en el croquis (Figura 4-66).

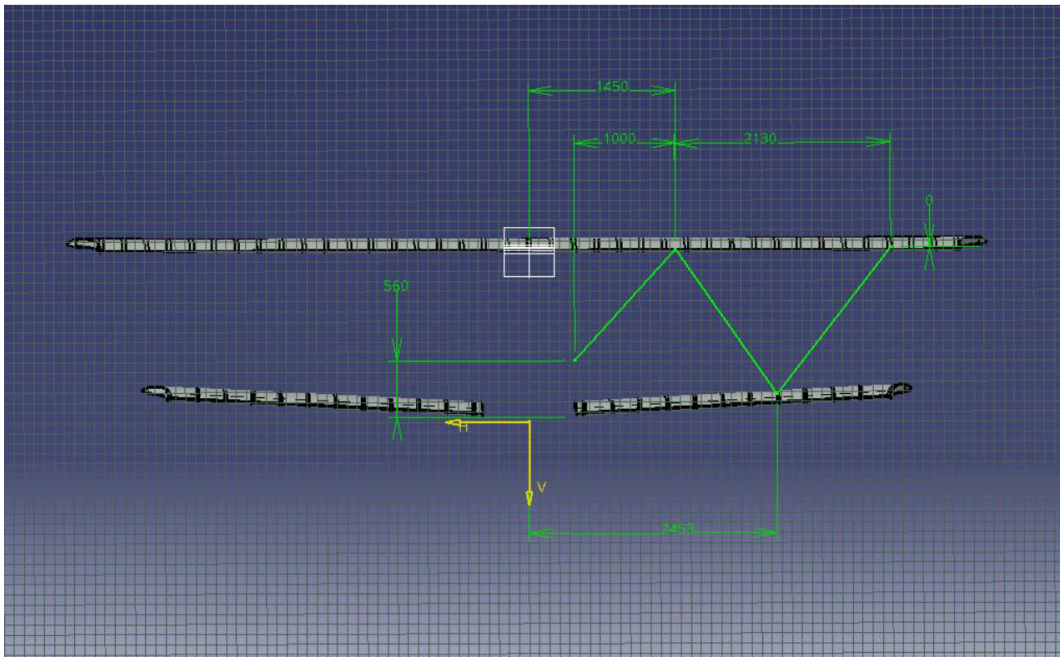


Figura 4-72. *Sketch* de las barras de unión.

Se dispondrán de dos filas de estas uniones, a una distancia de 985 mm entre ambas sabiendo que la primera se encuentra a 185 mm del borde de ataque del ala. Ambas filas de barras estarán unidas a las alas en los mismos puntos (referido a la distancia horizontal) aunque a diferente altura, ya que el perfil cambia la forma conforme se avanza en la cuerda de éste.

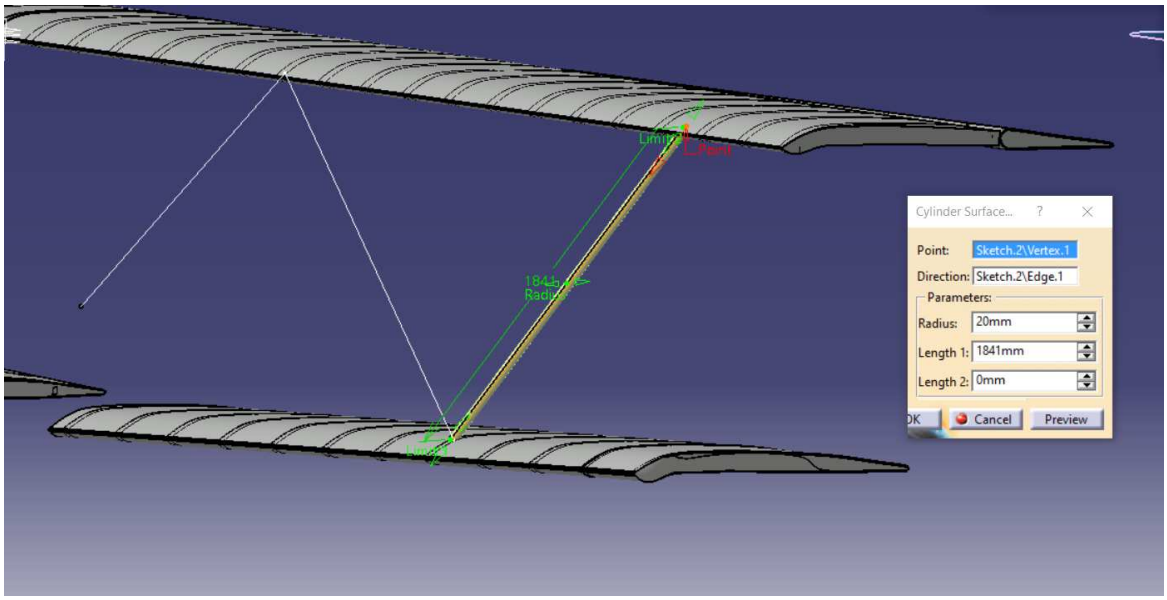


Figura 4-73. Orden *Cylinder* aplicada al *Sketch* de las barras

Tras la creación de los perfiles de las barras, le daremos forma cilíndrica mediante la orden *Cylinder* con un radio de 20 mm.

Estos cilindros, que todavía son una superficie, se convierten en sólido tras aplicarle un *Thick Surface* con un espesor interior de 3mm, quedando una parte hueca y ahorrando así material y peso.

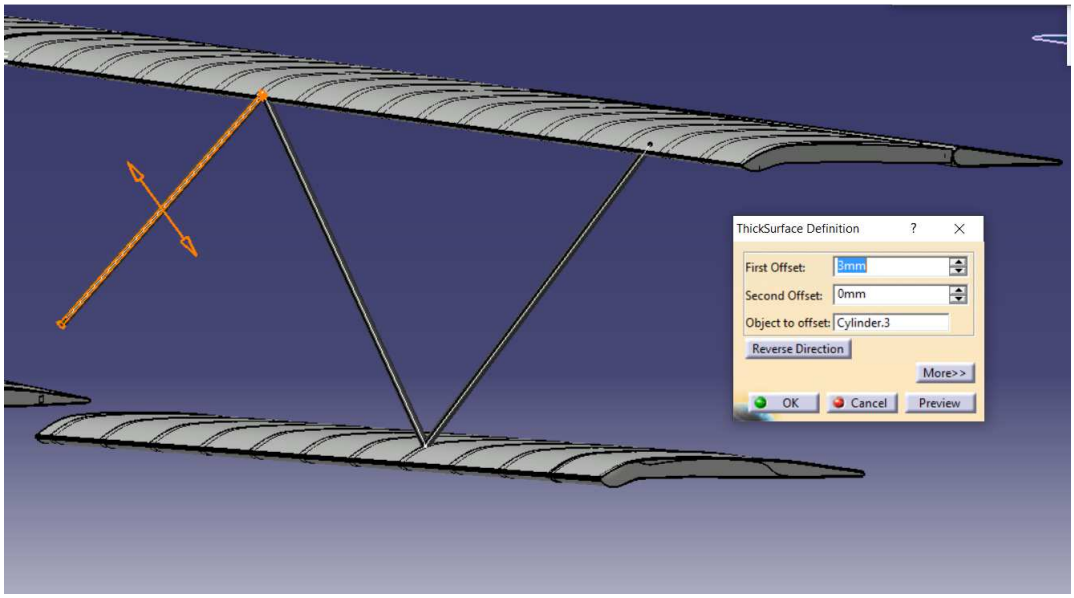


Figura 4-74. *Thick Surface* interior a las barras de unión entre alas

También diseñaremos los alambres que se unen en cruz entre las barras. Se crearán planos que contengan a los 4 puntos que se unirán entre las dos barras correspondientes y en ellos se dibujarán las guías que seguirán estos alambres.

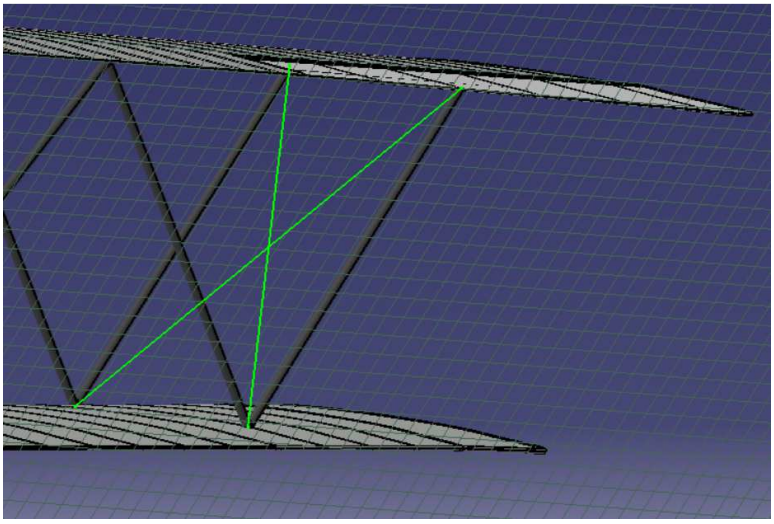


Figura 4-75. *Sketch* de alambres entre alas

Cuando ya hemos modelado todas las barras y alambres, proseguimos con la unión de las barras con el fuselaje, que tiene la siguiente forma:

Figura 4-76. Unión metálica de barras con fuselaje

Para el diseño de estas uniones metálicas se realizará un *Pad* a un *Sketch* con la forma indicada tras crear un plano vertical en el extremo de la barra que se une al fuselaje. Tendrá un ancho de 60 mm y le daremos un redondeo a los bordes de 30mm para que quede lo más parecido posible al del avión real.

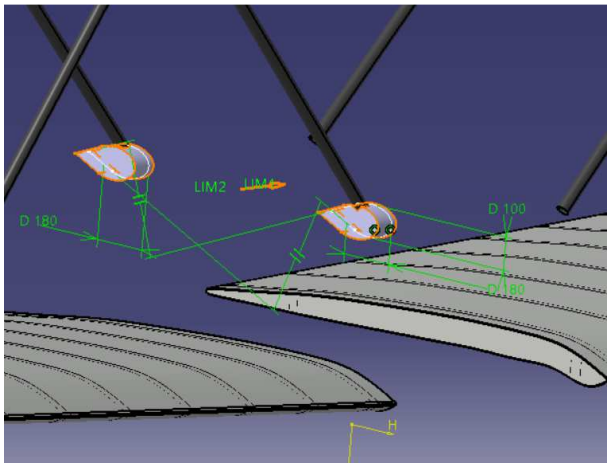


Figura 4-77. *Pad* de unión metálica de barras con fuselaje

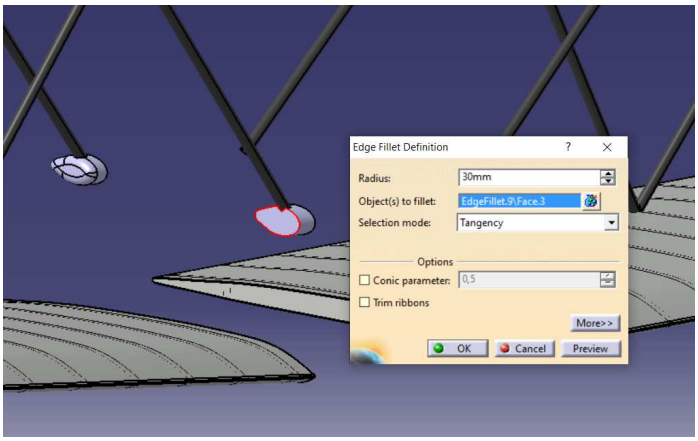


Figura 4-78. *Edge Fillet* aplicado a la unión metálica de barras con fuselaje

4.2.4 Colocación de las alas en el avión

Las alas se posicionan entre las cuadernas 12 y 14 con el ala baja a la altura de la parte inferior del fuselaje.

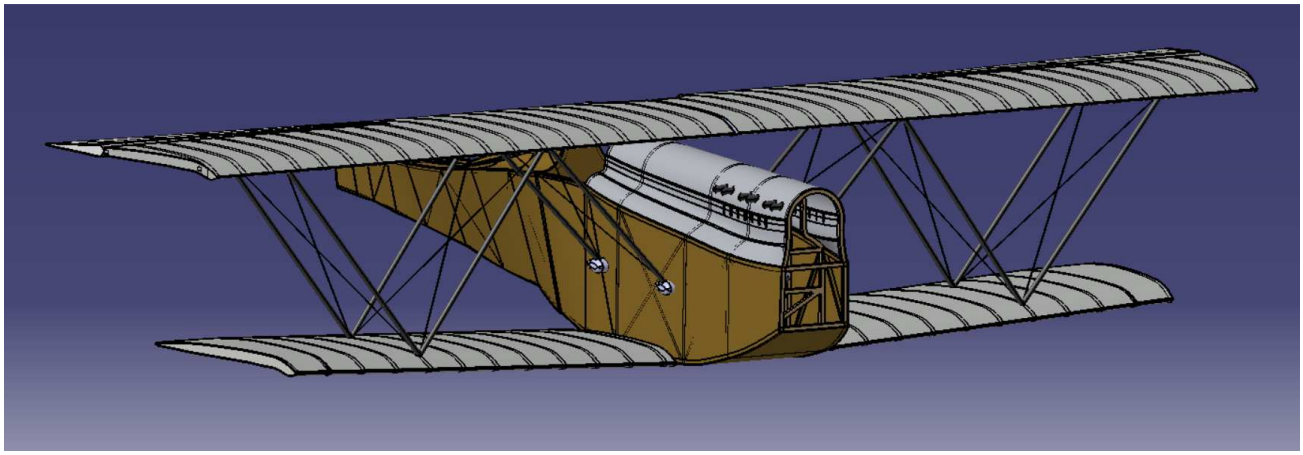


Figura 4-79. Conjunto alar posicionado respecto al fuselaje.

4.3 Empenaje

El conjunto de estabilizadores de cola del avión se llama empenaje y se encuentra en la parte posterior del avión, a la que le denominamos cola. Se compone estructuralmente de dos elementos: el estabilizador vertical y el estabilizador horizontal.

La clasificación de los tipos de cola se hace atendiendo a la posición del estabilizador horizontal respecto al estabilizador vertical. La manera de colocarlos se deberá principalemente a criterios aerodinámicos.

Las colas convencionales suelen clasificarse en tres grupos:

- La **cola clásica,** que es la más utilizada y generalizada, su uso en construcciones aeronáuticas es aproximadamente del 75%. Suele ser la solución óptima desde el punto de vista de estabilidad, control y de peso estructural del conjunto.
- La **cola en "T"**, que se caracteriza por tener situado el estabilizador horizontal en la parte superior de la deriva. Esta forma de posicionarlo permite, o bien reducir el tamaño de la deriva, o instalar un tercer motor en la misma. Este tipo de cola se emplea normalmente en aviones que tienen montados los motores atrás.
- La **cola cruciforme**, es un híbrido entre la clásica y la cola en T para aprovechar así las ventajas de ambas. El estabilizador horizontal se coloca no tan alto como en la cola alta ni tan bajo como en la cola baja.

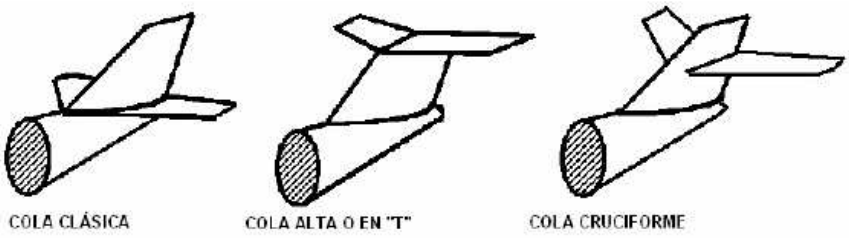


Figura 4-80. Diferentes tipos de cola

En nuestro caso, el Ansaldo SVA 5 dispone de una cola clásica, como se puede observar a continuación:

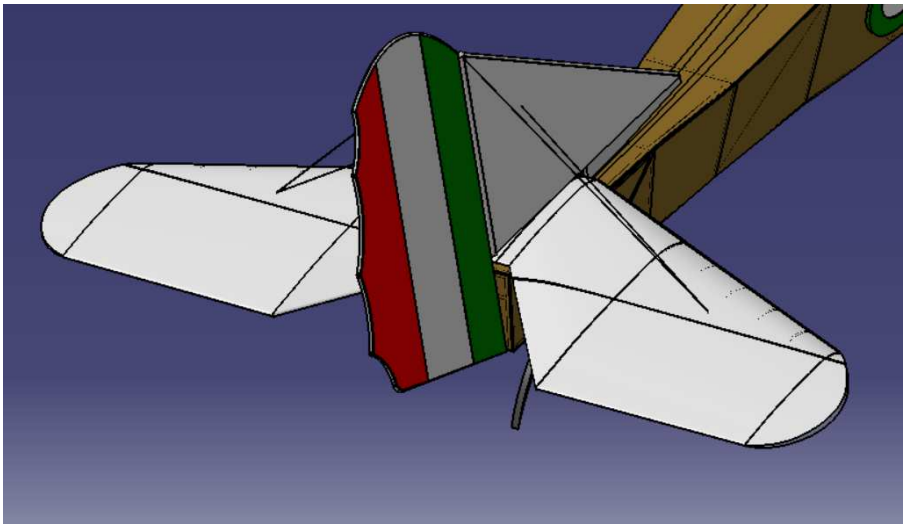


Figura 4-81. Empenaje de cola de Ansaldo SVA 5 y su modelado en Catia.

4.3.1 Estabilizador horizontal

El estabilizador horizontal contribuye en gran medida a la estabilidad longitudinal del avión. Generalmente se trata de una superficie aerodinámica simétrica, ya que debe tener posibilidad de generar cargas verticales. Suelen tener una parte móvil que hace crecer o disminuir estas cargas llamada timón de profundidad.

En este caso, las medidas de nuestro estabilizador horizontal quedan recogidas en los planos:

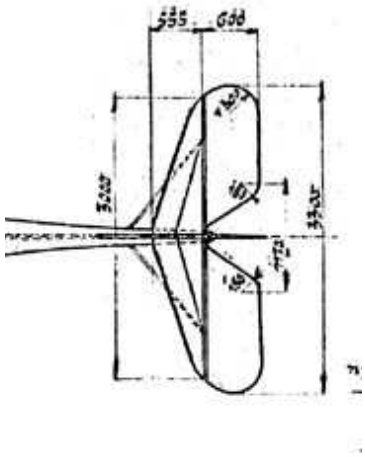


Figura 4-82. Dimensiones del estabilizador horizontal.

El estabilizador horizontal también dispondrá de costillas que le darán la forma aerodinámica que posee. Estas costillas cambiarán de tamaño y posición unas respecto a otras, lo cual es complicado y tedioso de diseñar.

Comenzamos creando los planos a la altura a la que se encuentran las costillas y se supondrá el mismo perfil que en las alas escalado a la longitud del estabilizador a la altura en la que se encuentra cada plano.

La longitud de cada costilla se calculará sabiendo que en la parte central es de 555 mm y que forma prácticamente un triángulo rectángulo hasta llegar al extremo, que se encuentra a 1500 mm de la parte central. El timón de profundidad sin embargo, siempre mantendrá el mismo ancho de 600 mm.

Con toda esta información nos disponemos a dibujar los *Sketch* de cada costilla proyectando el *Spline* del perfil (creado como en ocasiones anteriores) y escalándolo con la herramienta *Scale* lo que le corresponda en cada plano. Tras ello realizamos un *Pad* de cada perfil con un espesor de 10 mm.

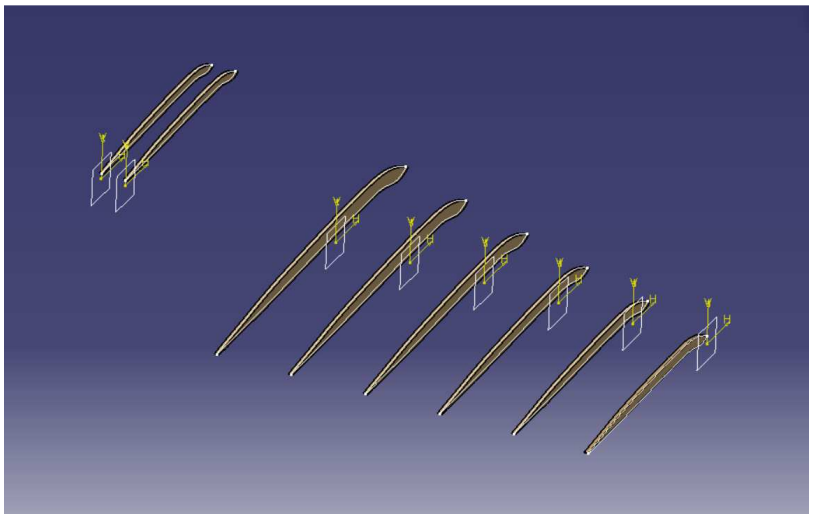


Figura 4-83. Costillas del estabilizador horizontal.

A estas costillas les realizaremos un *Mirror* respecto al plano X-Z para crear las costillas del lado izquierdo.

En este caso, el estabilizador horizontal dispone de tres largueros que recorren la estructura. Tendrá uno en el borde de ataque con un perfil rectangular de 20x15 mm, otro que recorre la parte central de 8x8 mm y el último que se encuentra en el borde de salida del timón de profundidad que tendrá las mismas medidas que el larguero central.

Así, tras dibujar los rectángulos sobre la superficie de cada costilla, realizamos un *Multi-Sections Solid* para crear el larguero, tal y como hemos actuado con anterioridad.

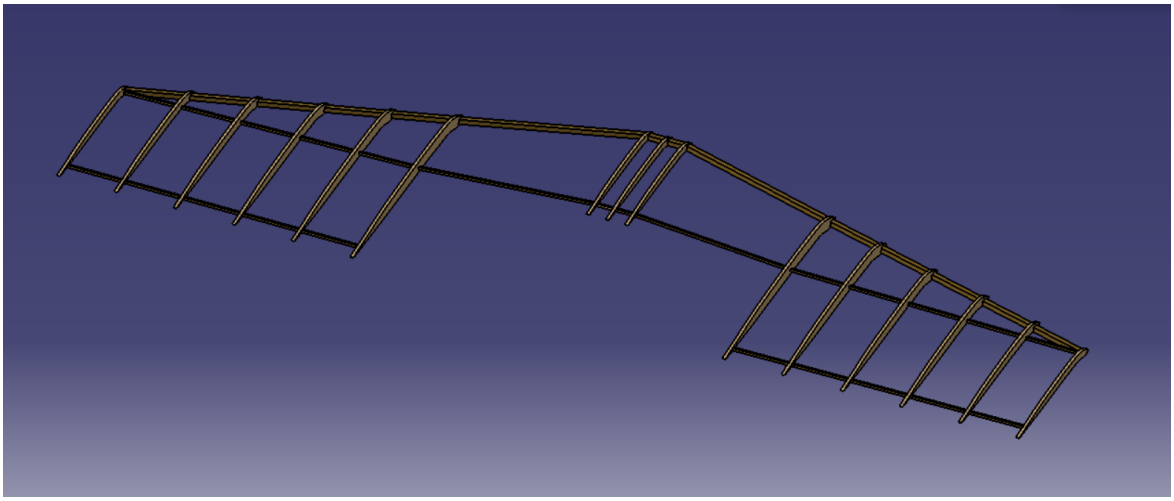


Figura 4-84. Estructura del estabilizador horizontal tras crear los largueros

Como hemos procedido anteriormente, crearemos el recubrimiento que imita a la tela para cubrir la estructura, mediante la orden *Multi-Sections Surface* y dándole un espesor de 4 mm con *Thick Surface*.

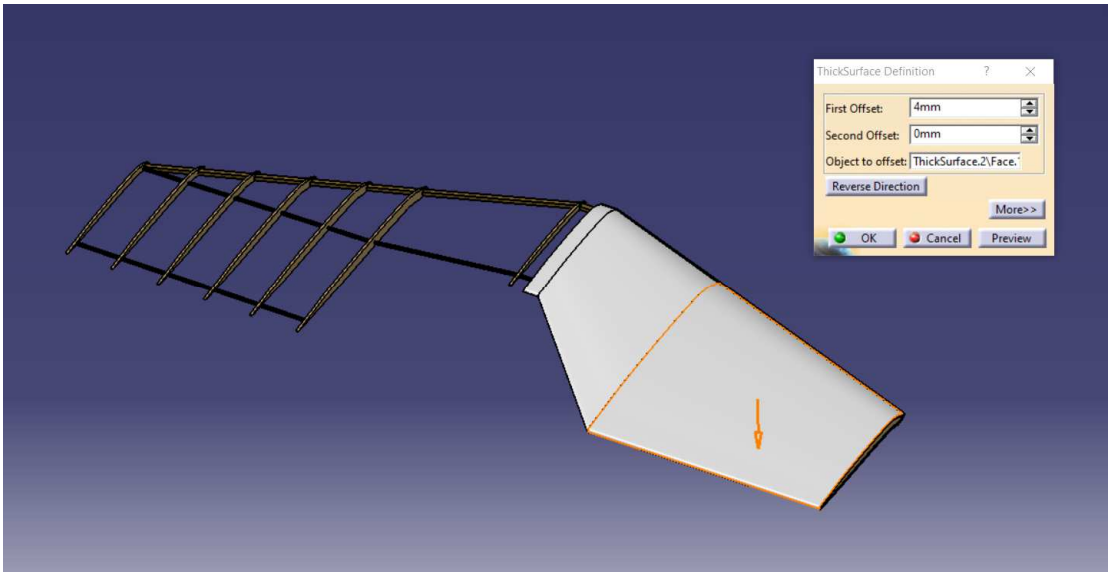


Figura 4-85. Recubrimiento de estabilizador horizontal

Por último creamos la parte redondeada en la que acaba el extremo del estabilizador. Para mantener la forma del perfil, crearemos un perfil similar al último del extremo pero estrechado en un plano alejado 500 mm y realizamos un *Multi-Sections Solid* entre ambos.

A este sólido, le haremos un *Pocket* con la forma deseada y le daremos el mismo espesor que al resto del estabilizador.

Por último, separaremos el timón de profundidad del resto del estabilizador mediante otro *Pocket* con la forma semicircular y un ancho de 5 mm.

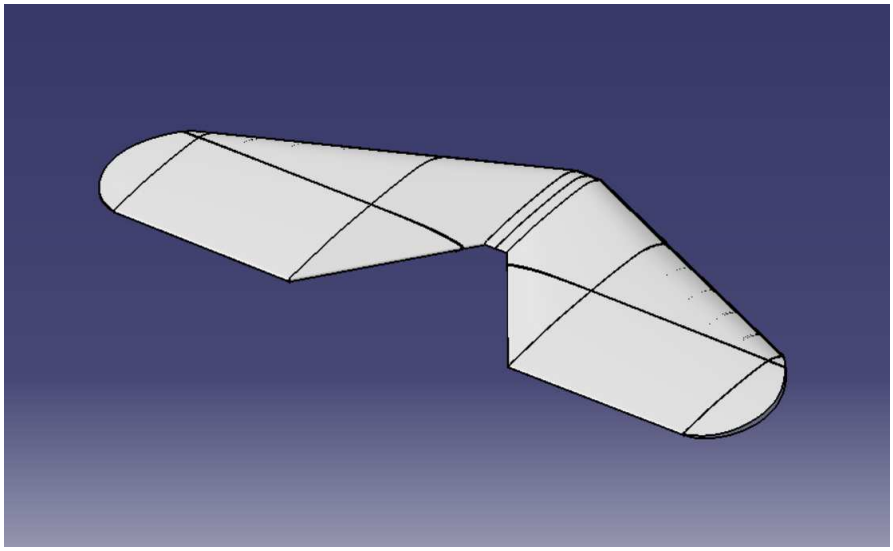


Figura 4-86. Modelo del estabilizador horizontal en CATIA

4.3.2 Estabilizador vertical

El estabilizador vertical contribuye en gran medida a la estabilidad direccional del avión. Generalmente se trata de una superficie aerodinámica simétrica, ya que debe tener posibilidad de generar cargas horizontales. Posee una parte móvil que se denomina timón de dirección.

Tenemos varios planos en los que se detallan las medidas y la forma del estabilizador vertical, como se muestra en la Figura 4-87.

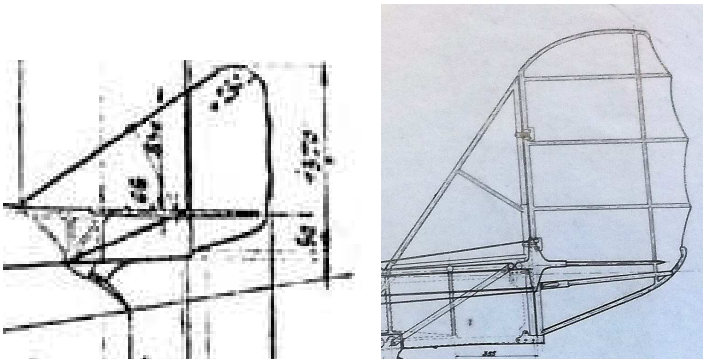


Figura 4-87. Planos del estabilizador vertical.

Comenzamos diseñando el timón de dirección, el cual tendrá una estructura tubular que le proporciona la forma que hemos visto. La posición de éstas y sus longitudes quedan detalladas en la siguiente Figura.

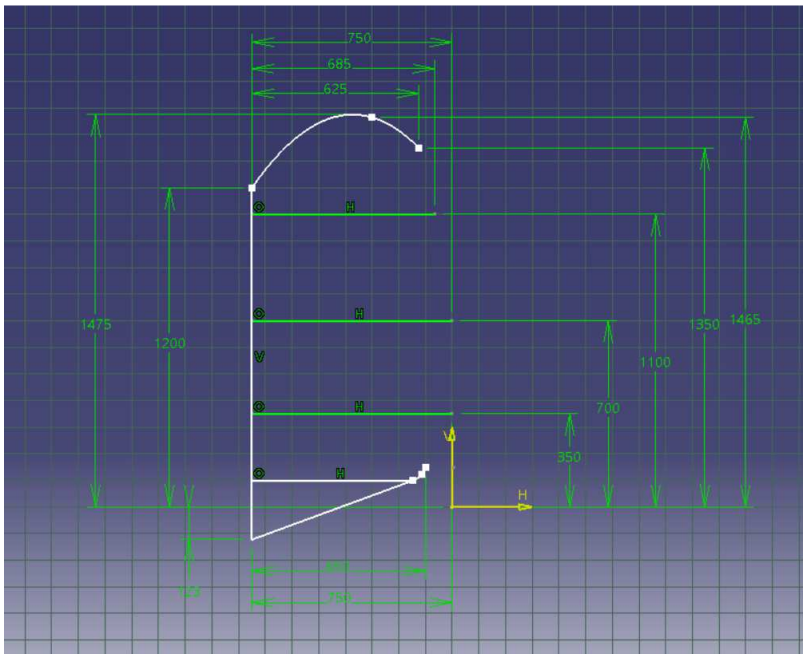


Figura 4-88. *Sketch* del timón de profundidad

La estructura tubular se creará a partir de este *Sketch*, creando una superficie cilíndrica alrededor de las líneas que lo conforman de un diámetro de 15 mm. La superficie de los cilindros horizontales podrá crearse a partir de la orden *Cylinder*. Sin embargo, los cilindros superior e inferior tienen formas más complejas y se crearán con el comando *Sweep* tras dibujar en uno de los extremos una circunferencia del radio mencionado con anterioridad.

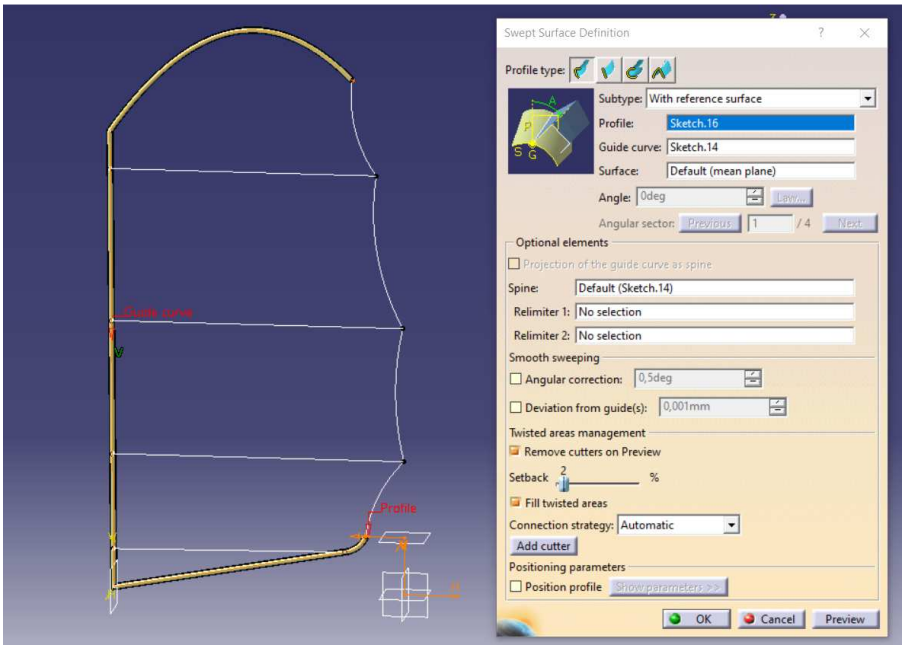


Figura 4-89. Orden *Sweep* para la creación de estructura de timón de dirección

Finalmente, la estructura tubular queda modelada:

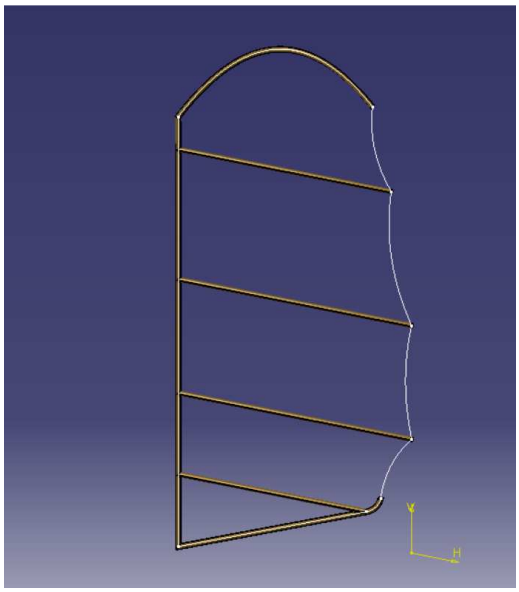


Figura 4-90. Estructura tubular del timón de dirección

Para el recubrimiento tomaremos el *Sketch* exterior y le daremos un espesor variable con la herramienta *Draft,* con un ángulo variable de 0.2º.

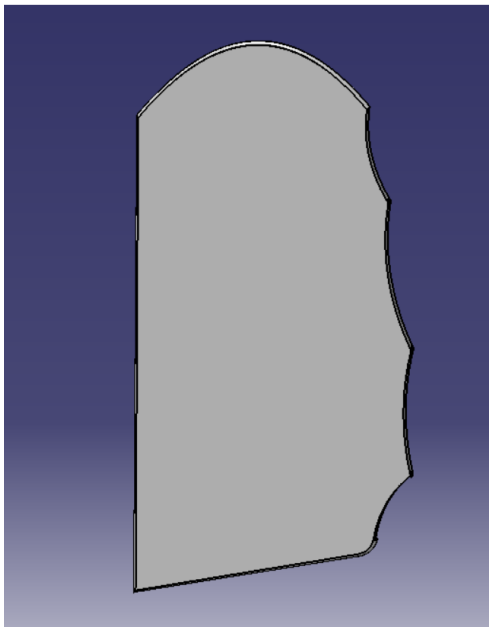


Figura 4-91. Timón de profundidad modelado en CATIA

Ahora nos centraremos en el modelado de la aleta dorsal que conforma el estabilizador vertical junto al timón de dirección. Ésta se realizará de la misma forma, ya que su estructura interna también es tubular y se puede distinguir en la Figura 4-87.

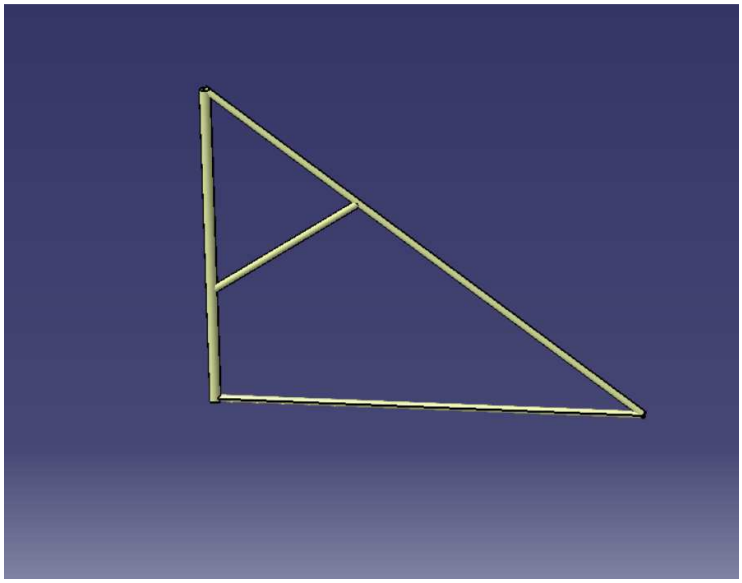


Figura 4-92. Estructura tubular de la aleta dorsal

Para el recubrimiento se realiza un *Fill* en las zonas que se encuentran entre los tubos y se le da un espesor mediante *Thick Surface.*

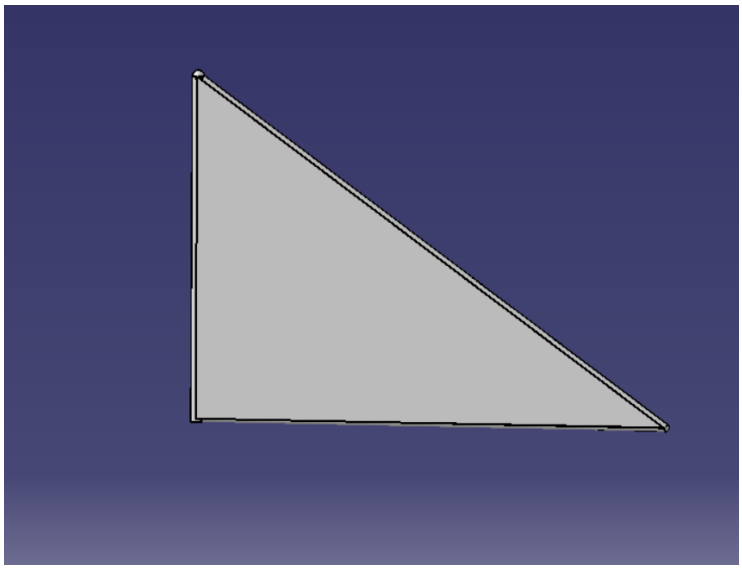


Figura 4-93. Aleta dorsal modelada en CATIA

4.3.3 Colocación del empenaje en el avión

El conjunto del empenaje se colocará de la siguiente manera:

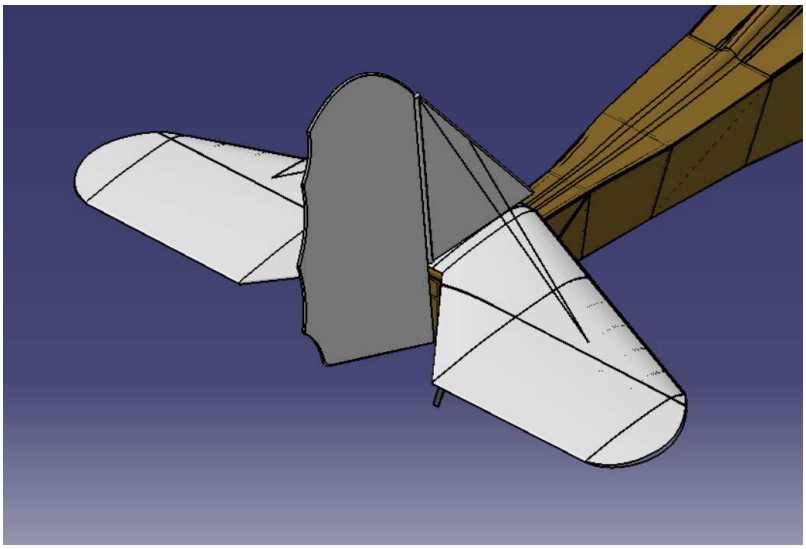


Figura 4-94. Empenaje colocado respecto al fuselaje

4.4 Apoyo cola

Este apoyo servirá para que cuando el avión esté estacionado, la cola no toque el suelo y no se dañe así ni la estructura ni el empenaje.

No disponemos de las medidas exactas, pero sabemos que está posicionado entre las costillas nº 2 y 3.

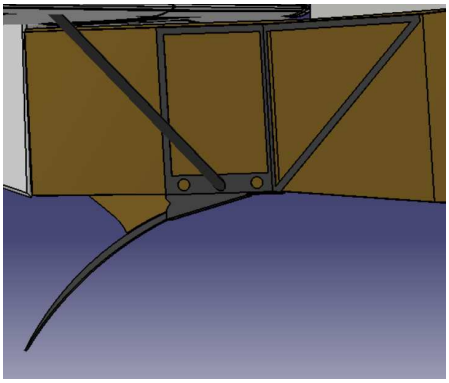


Figura 4-95. Apoyo cola real frente al modelado

Para su creación, tomamos los perfiles de las costillas 2, 3 y 4 y realizamos un *Multi-Sections Solid* con ellas. A éste, se le añadirá en la parte inferior un *Pad* rectangular para crear la parte que sobresale.

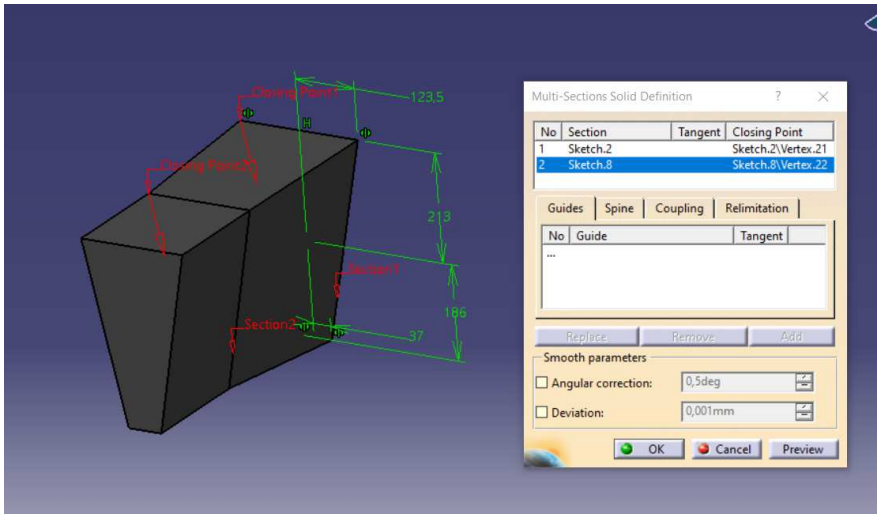


Figura 4-96. *Multi-Sections Solid* para la creación de la estructura del apoyo de cola.

Al conjunto de los sólidos creados se les realizará un vaciado con espesor eliminando varias caras para obtener la forma deseada. Lo siguiente será el apoyo en sí, que tendrá un ancho de 30 mm y la forma indicada en la Figura 4-95.

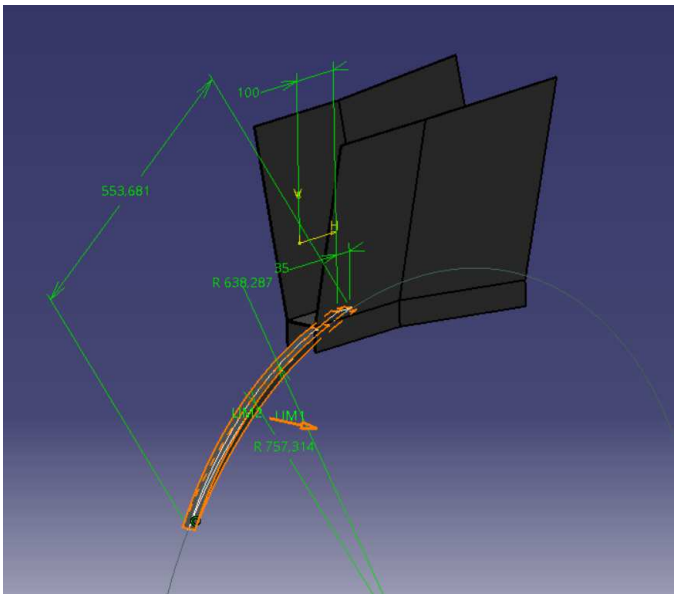


Figura 4-97. Diseño del apoyo de cola

Tras ello utilizaremos la orden *Pocket* para crear la forma definitiva del agarre del apoyo de cola al fuselaje.

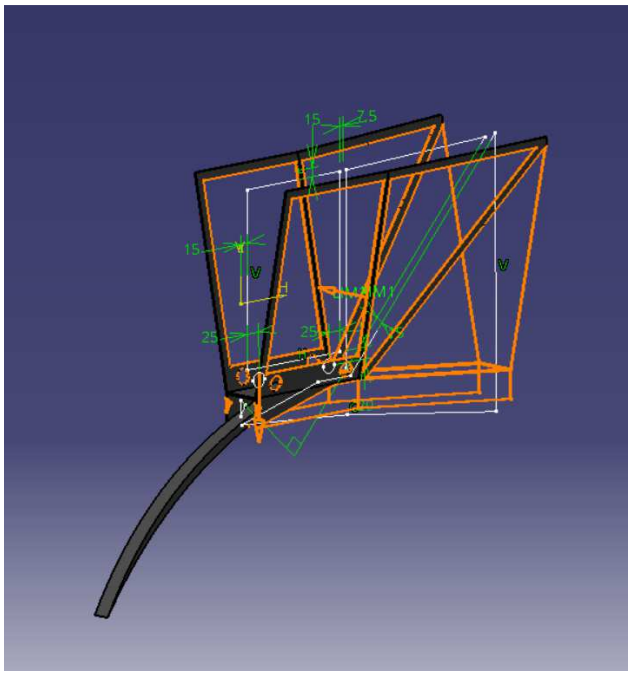


Figura 4-98. Orden *Pocket* aplicada al apoyo de cola

Por último se le añaden las barras que lo conecta con el estabilizador horizontal. Para ello crearemos dos puntos, uno en la superficie del apoyo de cola y otro en la superficie inferior de la parte fija del estabilizador horizontal. Los uniremos y crearemos con la opción *Cylinder* el cilindro al que convertiremos en sólido con *Close Surface.*

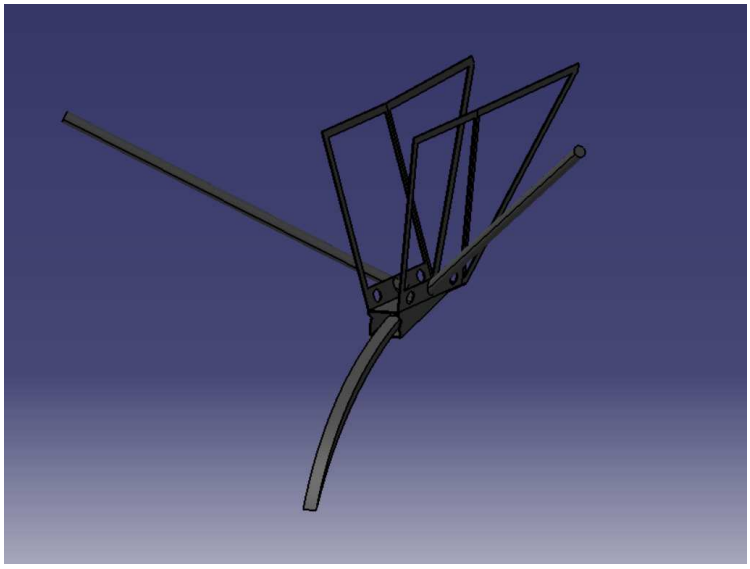


Figura 4-99. Modelo del Apoyo de cola en CATIA

4.5 Hélice

La hélice es el mecanismo formado por dos o más aspas o palas que al girar sobre un eje y adquirir cierta velocidad de rotación produce una fuerza propulsora. Básicamente, transforma la energía mecánica que recibe en energía cinética que se le comunica al eje.

Cada pala está formada por un conjunto de perfiles aerodinámicos que van cambiando progresivamente su ángulo de incidencia y tamaño desde la raíz hasta el extremo.

En nuestro caso el modelado se dividirá en una parte central que será cilíndrica y en el modelado de la hélice mediante perfiles.

En este punto también modelaremos la carcasa donde irá alojada la hélice así como el respiradero del motor.

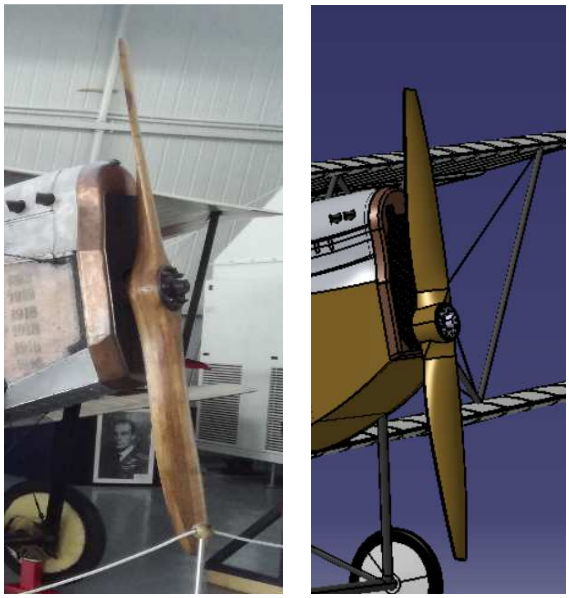


Figura 4-100. Hélice real y modelo en CATIA

La longitud y posición de la pala puede verse en los planos:

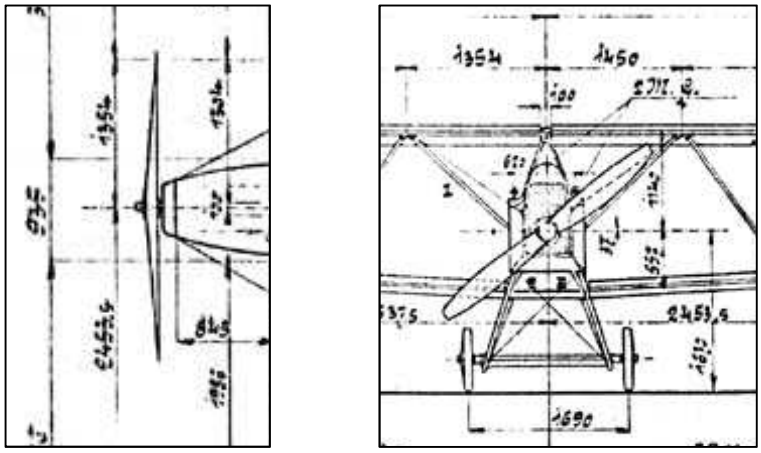


Figura 4-101. Planos de la hélice del avión

Comenzamos el modelado de la hélice realizando un *Pad* cilíndrico que conformará la parte central que va conectada al eje. Tendrá un diámetro de 230 mm y un ancho de 85mm.

El siguiente paso será crear varios planos donde dibujaremos los perfiles elípticos en los *Sketch*. Como hemos comentado variará el ángulo y el tamaño de estos perfiles para que la forma final sea lo más parecida posible a la pala en el caso real.

Uniremos los distintos perfiles a través de la orden *Multi-Sections Solid*, en la cual habrá que hacer un guiado mediante *Coupling* uniendo los vértices de cada perfil.

Para crear la otra pala, ante la imposibilidad de utilizar la orden *Mirror,* se crearán los planos a la misma distancia simétricamente y se proyectará en ellos los *Sketch* de los perfiles mediante la herramienta *Project 3D Elements*.

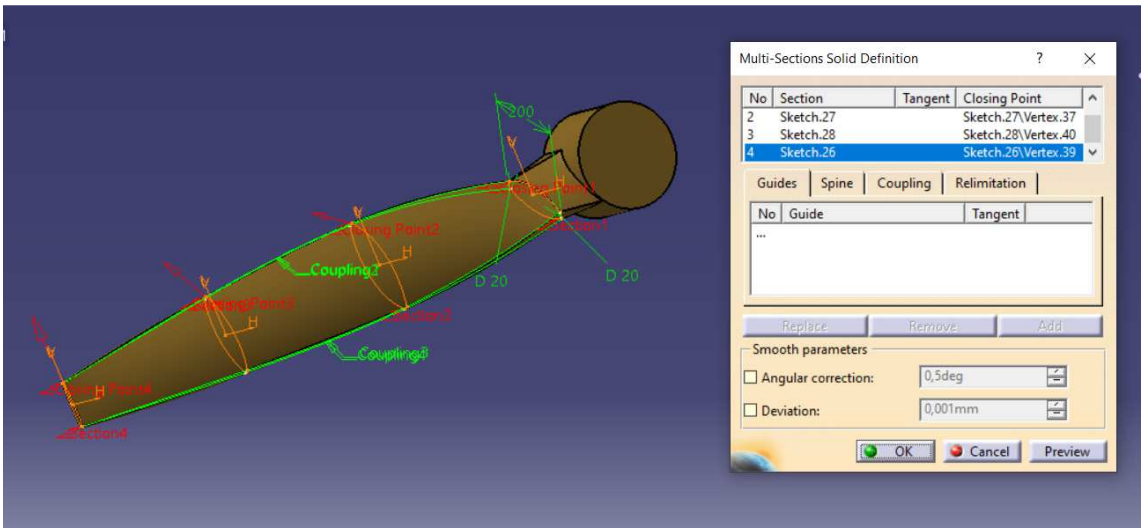


Figura 4-102. *Multi-Sections con Coupling* para la creación de la hélice

Por último le realizaremos el agujero central donde irá el eje, que será de 80 mm de diámetro, y los agujeros en los que se atornillará este, que serán de 8 mm.

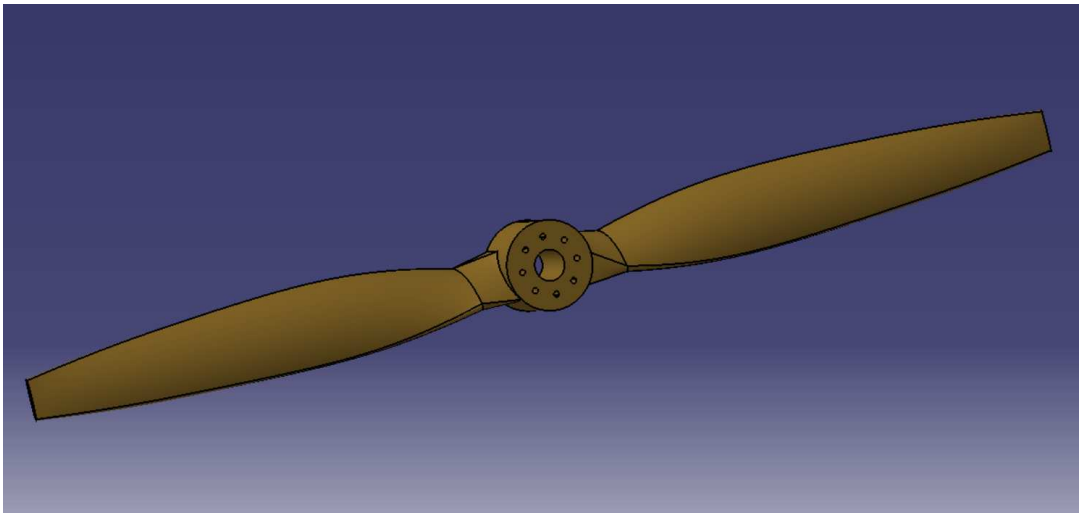


Figura 4-103. Modelo de hélice en CATIA

4.5.1 Eje y tornillos

El eje tendrá el diámetro del taladro central de la hélice y se unirá a ella mediante una placa atornillada.

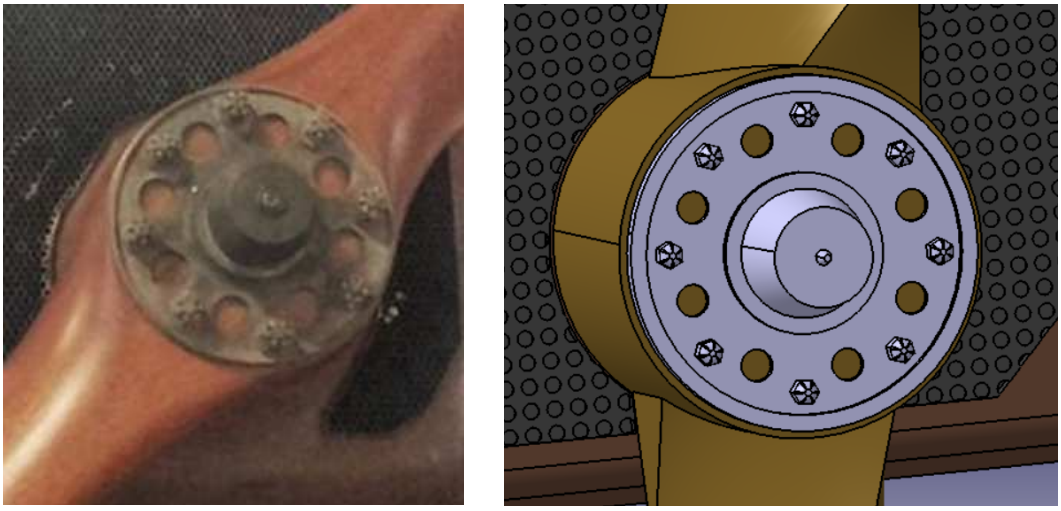


Figura 4-104. Eje y placa de unión a la hélice real y modelo en CATIA

Crearemos primero el eje con un *Pad* cilíndrico de 80 mm de diámetro y 120 mm de longiutd (el eje tendrá una mayor longitud pero como no vamos a diseñar el grupo motor le daremos una longitud significativa que atraviese la hélice y la carcasa) y a este le haremos un *Chamfer* de 10º a lo largo de 50 mm desde la cara superior para darle la forma con la que aparece en las fotos.

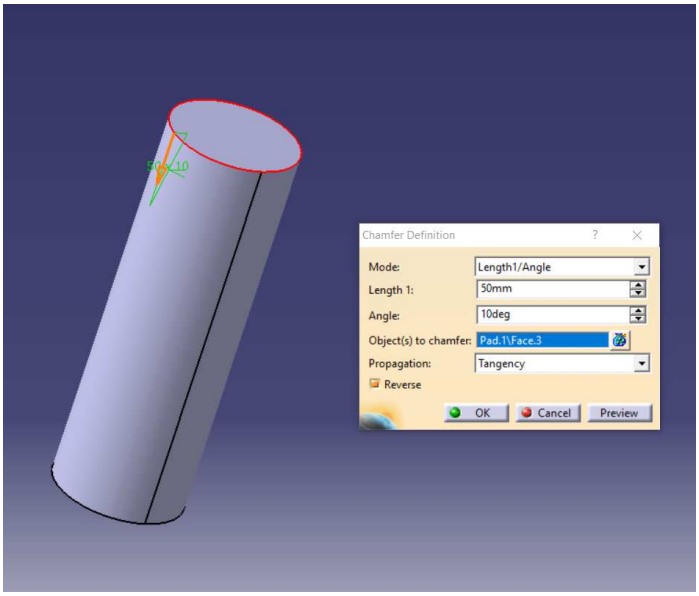


Figura 4-105. *Chamfer* al cilindro del eje

El siguiente paso será crear la placa con la que se unirá a la hélice, la cual se modelará con un *Pad* cilíndrico de 220 mm de diámetro y 10 mm de espesor a la que se le realizará un *Pocket* de 5 mm con un diámetro de 10 mm menor al de la placa.

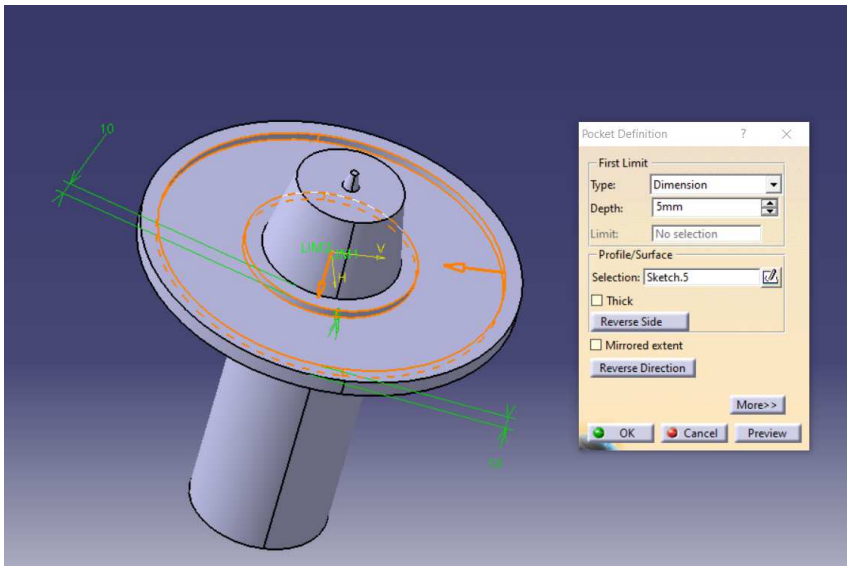


Figura 4-106. *Pocket* a placa de unión con hélice

Lo último que haremos sobre la placa serán los taladros donde irán alojados los tornillos y una serie de agujeros que harán que se ahorre material. Los taladros de los tornillos tendrán un diámetro de 8 mm, como hemos mencionado, y los demás serán de diámetro 20 mm. Se utilizará la función *Hole,* y en el caso de los agujeros donde irán los tornillos se les dará un *Thread.*

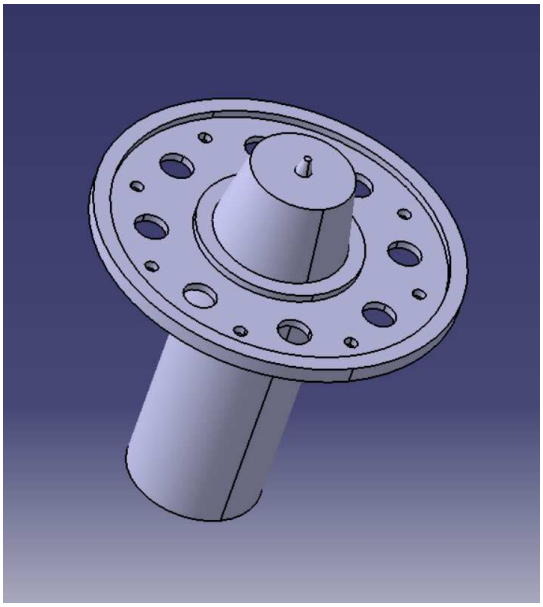


Figura 4-107. Eje de la hélice

Con el eje ya modelado, nos centramos en los tornillos. Estos, tras consultarlo con el personal del museo, ya no se fabrican y tienen un diámetro de unos 8 mm y una longitud aproximada de 40 mm. Ateniéndonos a esto y a la forma que podemos distinguir en las fotos de la hélice, se diseña de la siguiente manera, aplicándole el correspondiente *Thread*:

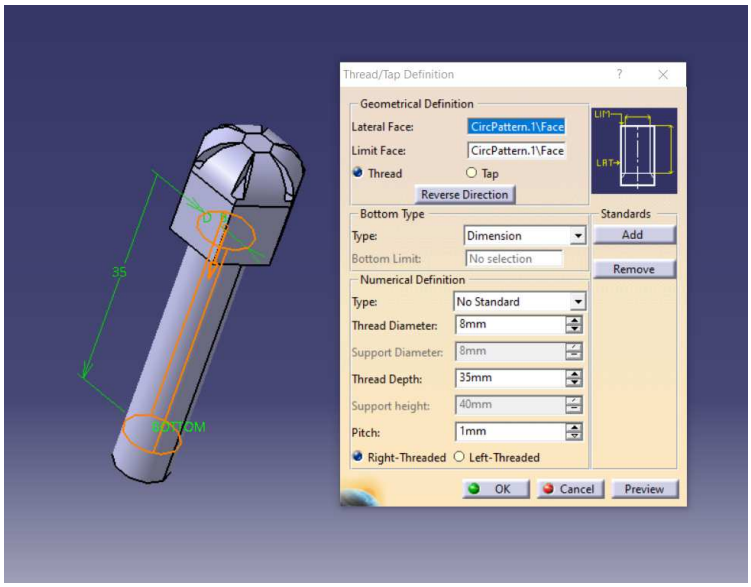


Figura 4-108. Modelo en CATIA de tornillo de la placa del eje

Finalmente el ensamblaje del eje en la hélice queda:

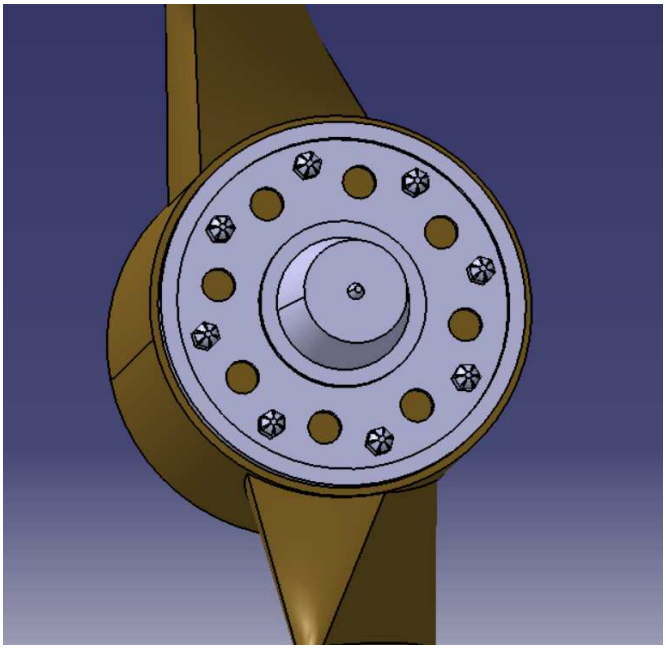


Figura 4-109. Eje unido a la hélice

4.5.2 Carcasa de la hélice

El perfil de la carcasa donde irá alojada la hélice tendrá la misma forma que el de la cuaderna 17 pero con una leve disminución en las longitudes de los listones.

Figura 4-110. Carcasa de hélice en el avión real y modelo en CATIA

Comenzamos diseñando la rejilla de ventilación del motor, que haremos mediante un *Pad* creando un placa rectangular de 1 mm de espesor y se le realizarán los agujeros que lo convierten en una rejilla mediante la orden *Rectangular Pattern* aplicada a un *Hole* de 10 mm de diámetro con un espaciado entre un agujero y otro de 5mm (de 15 mm entre centros). La forma deseado se la daremos con un nuevo *Pocket* en el que la forma se dibujará en un *Sketch* de forma aproximada.

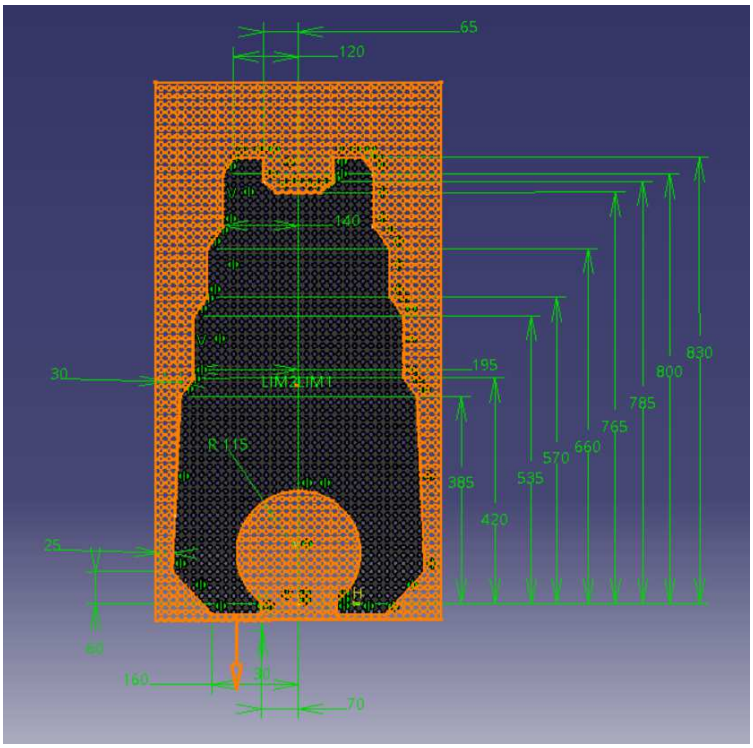


Figura 4-111. *Pocket* a rejilla de la carcasa de la hélice

Para la carcasa en sí se hará un *Pad* de 70 mm con las siguientes medidas que se muestran a continuación:

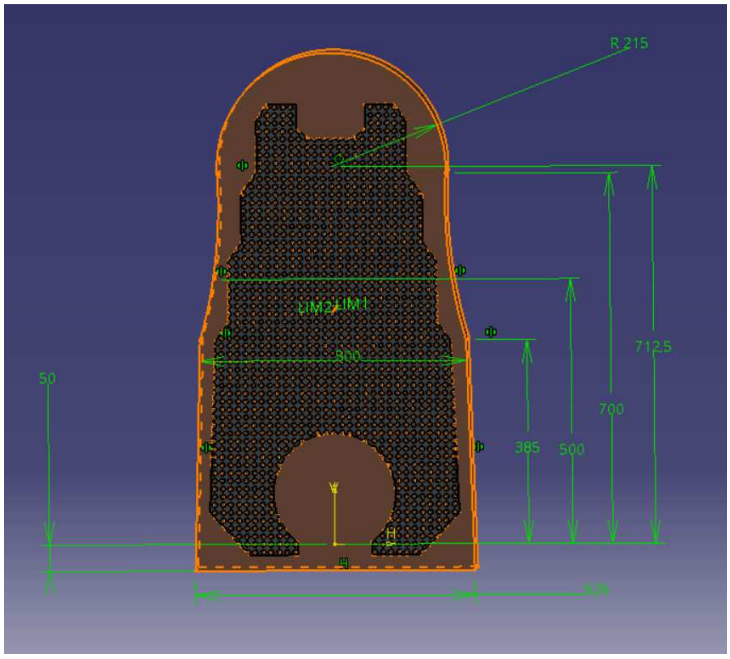


Figura 4-112. *Pad* de la carcasa de la hélice

A este *Pad* se le realizará un *Draft* de 15º para que al posicionarla sobre la cuaderna 17, coincida con esta. A los bordes del resultado final se le hará un *Edge Fillet* de 20 mm de radio.

Finalmente se crea el taladro central donde se posicionará el eje de la hélice.

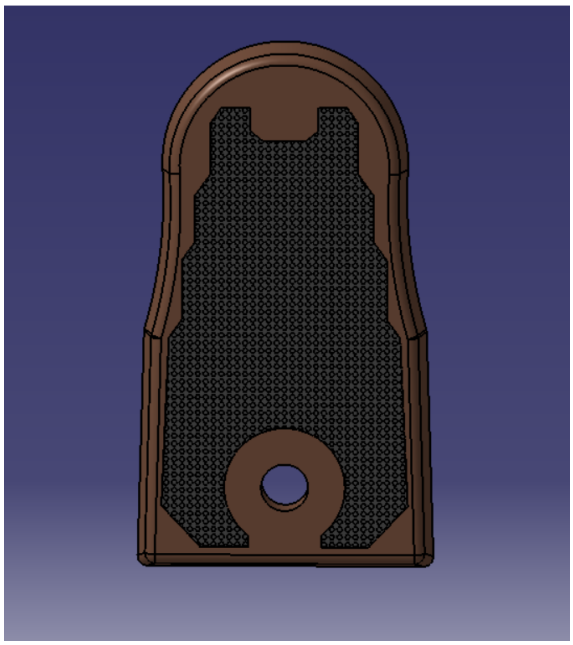


Figura 4-113. Modelo en CATIA de la carcasa de la hélice

4.5.3 Posicionamiento del conjunto Hélice respecto al fuselaje

El posicionamiento del conjunto hélice, que se encuentra en el morro del avión, se muestra en la siguiente Figura:

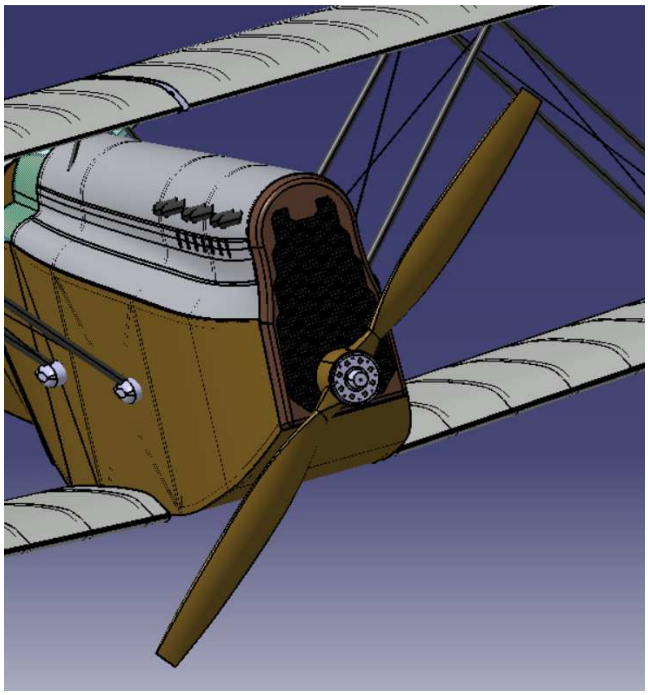


Figura 4-114. Posicionamiento del conjunto hélice en el fuselaje.

4.6 Tren de aterrizaje

El tren de aterrizaje es el conjunto de ruedas, soportes, amortiguadores y otros equipos que un avión utiliza para aterrizar o maniobrar sobre una superficie. También servirá de soporte de la aeronave en tierra.

El tren de nuestra aeronave, se denomina tren de rodadura ya que dispone de ruedas.

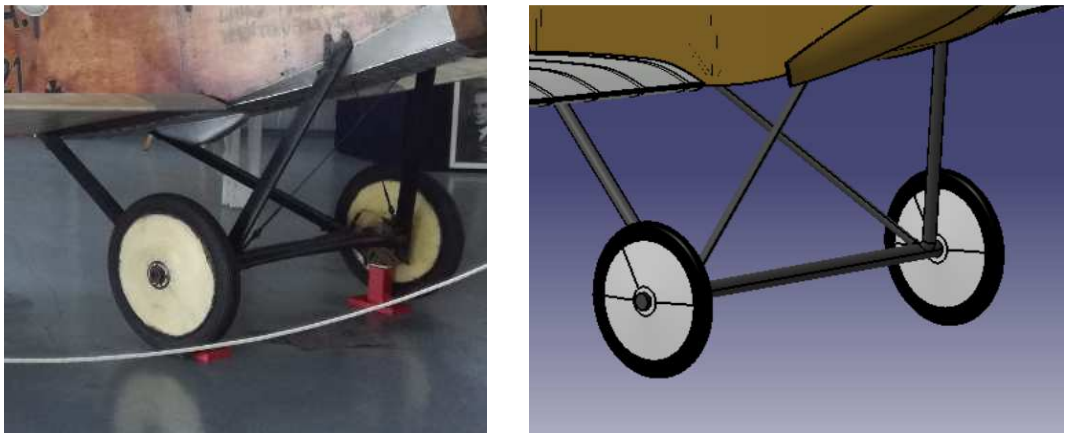


Figura 4-115. Tren de aterrizaje real del avión y modelo en CATIA

El tren de aterrizaje no será complicado de modelar ya que sabiendo las distancias al fuselaje, la distancia entre ruedas y el radio de la rueda, el proceso de modelado es rápido.

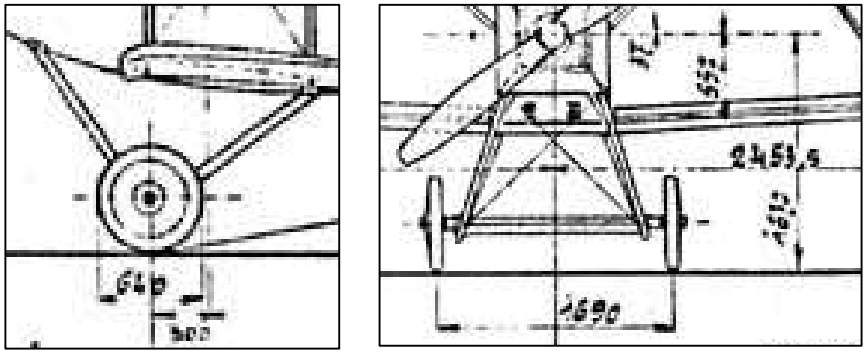


Figura 4-116. Planos del tren de aterrizaje

Lo primero que diseñaremos serán las ruedas. Como podemos apreciar en los planos tienen un diámetro de 640 mm. Dispondrán de una llanta de 500 mm de diámetro y el neumático tendrá un espesor de 25 mm.

Comenzamos diseñando el neumático al que dotaremos de un color negro para simular al caucho, y tras ello modelaremos la llanta con la orden *Multi-Sections Solid* ya que tiene una parte que sobresale, como puede verse en las fotos.

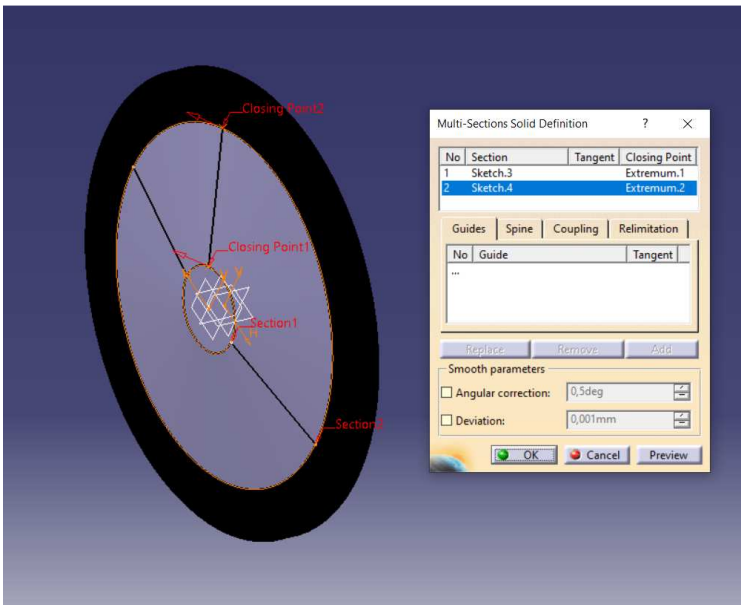


Figura 4-117. *Multi-Sections Solid* para crear la llanta de la rueda

La otra rueda se crea con la orden *Mirror* tomando como plano de referencia un plano paralelo al Y-Z a una distancia de 845 mm.

La unión entre ambas ruedas se realizará con un *Pad* aplicado a un *Sketch* circular de 50 mm de diámetro.

Las uniones con el fuselaje se harán mediante la herramienta *Rib,* utilizando un círculo también de 50 mm como perfil y un *Sketch* en V como guía. Primero se creará una de las uniones y se le aplicará un *Mirror* para crear la otra.

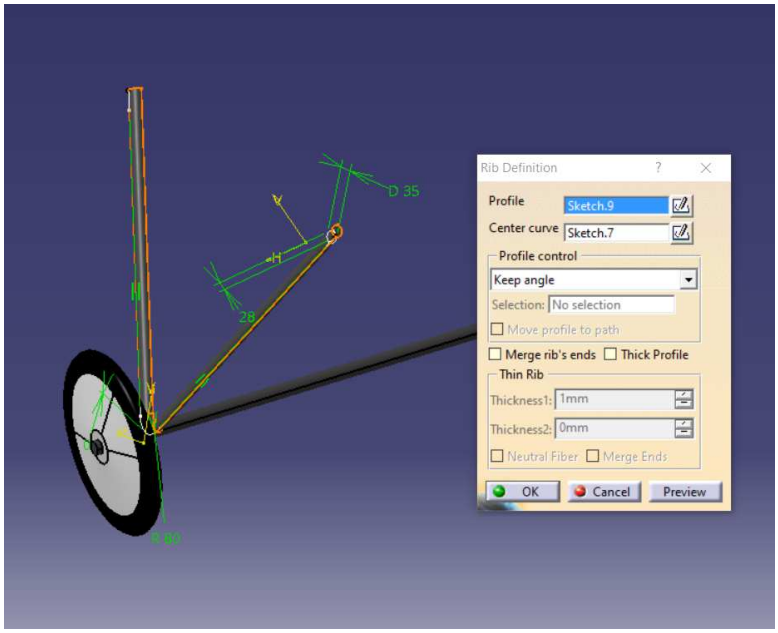


Figura 4-118. *Rib* para crear las barras de unión del tren de aterrizaje con el fuselaje

El tren de aterrizaje colocado en el fuselaje queda:

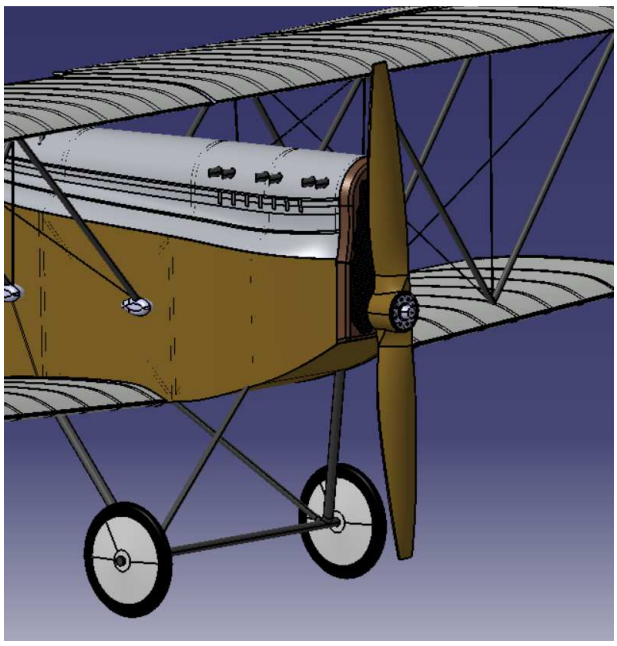


Figura 4-119. Tren de aterrizaje colocado en el fuselaje

4.7 Cabina

La cabina es la zona del avión donde se aloja el piloto y desde la cual maneja la aeronave. Suele contar con un panel de instrumentos, un volante y el asiento donde se sienta el piloto.

En la actualidad, los equipos de a bordo han avanzado enormemente con respecto a los que podían encontrarse en los aviones de la Primera Guerra Mundial ya que ahora se dispone de una tecnología que en aquella época se consideraba inalcanzable.

En lo que a nuestro modelado concierna, diseñaremos el asiento del piloto y el volante.

4.7.1 Asiento

Del asiento no disponemos mucha información por lo que nos fijaremos en las dos vistas que poseemos de este.

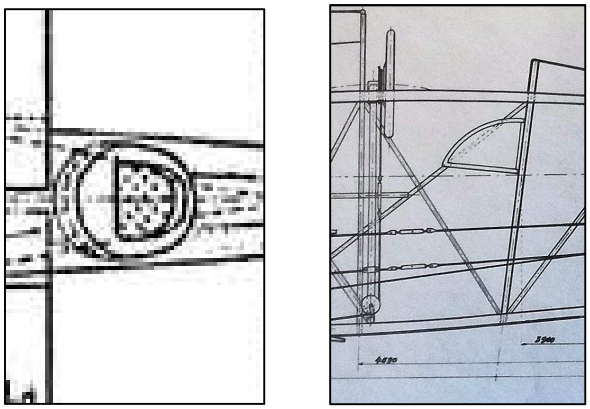


Figura 4-120. Planos del asiento del piloto

Para crear este asiento, dibujaremos un *Sketch* con la forma en planta del asiento y le daremos una altura con *Pad*. No tenemos las medidas exactas, pero las calcularemos midiendo en papel y aplicando un factor de escala.

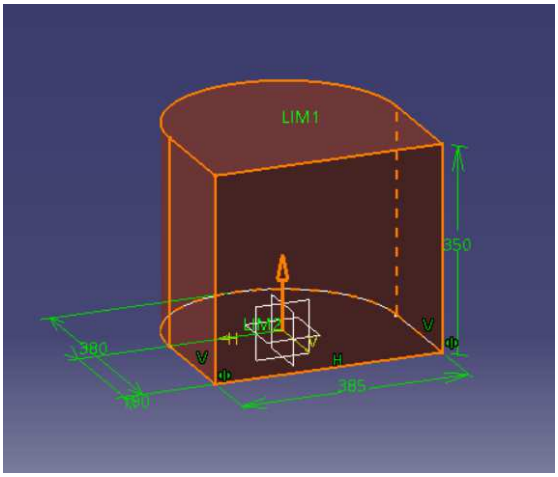


Figura 4-121. *Pad* con la forma del asiento

A este *Pad* le realizamos varios *Pocket* para darle la forma deseada al asiento.

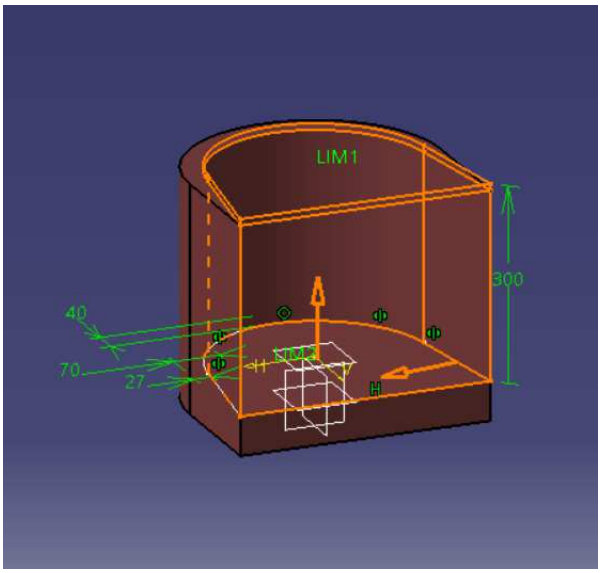


Figura 4-122. *Pocket* al asiento

Por último le redondeamos las aristas que se han creado tras realizar los vaciados correspondientes, quedando finalmente:

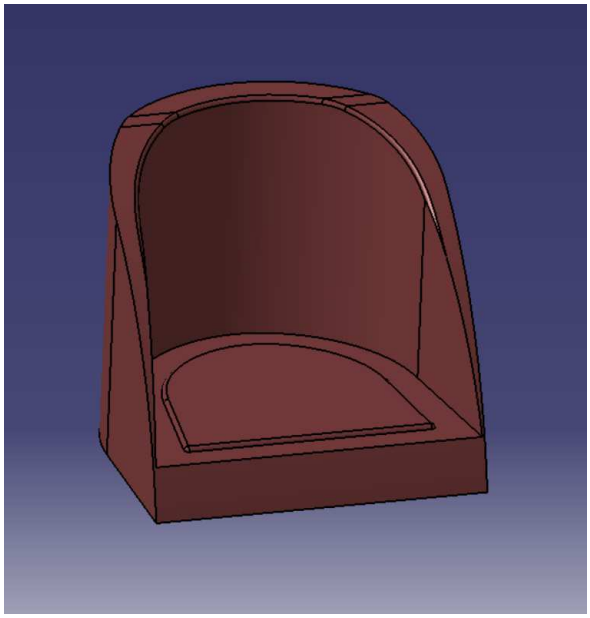


Figura 4-123. Modelo del asiento en CATIA

El asiento irá instalado en la cabina unido al suelo mediante barras cilíndricas con un diámetro de 25 mm y una altura vertical de 714 mm para posicionarla correctamente , de las cuales se muestra el diseño a continuación:

Figura 4-124. Barras de unión entre el asiento y el suelo

4.7.2 Volante

El volante del avión permitirá maniobrar a este por medio del control del movimiento del timón de profundidad, haciéndolo girar a un lado u otro.

El diseño de éste, al igual que el del asiento estará basado en las imágenes que poseemos en los planos pero no tenemos sus medidas exactas.

La forma del volante será circular e irá apoyado sobre la cuaderna 11.

Comenzaremos creando la parte circular exterior que servirá de agarre al piloto con la orden *Rib*, utilizando como perfil una circunferencia de diámetro 25 mm y de guía otra de 170 mm.

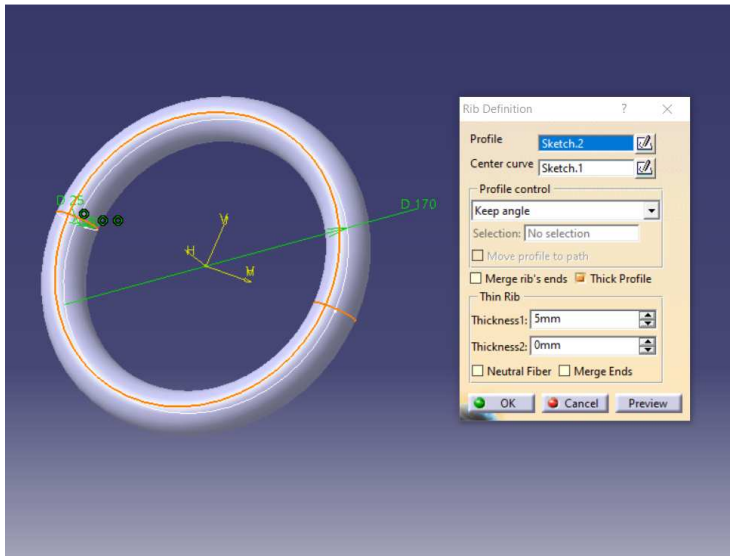


Figura 4-125. *Rib* para crear agarre del volante

Tras esto, diseñamos la parte central, con varios taladros con dos funciones: unos para unirlo a la barra que lo conectará con el fuselaje y otros para el ahorro de material.

Los taladros para los tornillos con los que se unirá a la barra que lo conecta con el fuselaje serán de 5 mm de diámetro.

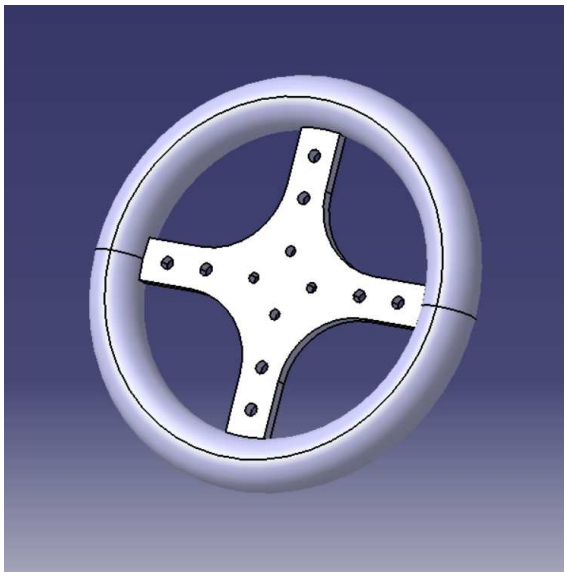


Figura 4-126. Volante modelado en CATIA

La unión entre este y la barra posee una parte semiesférica en el extremo que se conecta al volante y en ella irán los taladros correspondientes.

La longitud de la barra no será la real, pero como no vamos a diseñar en este caso el mecanismo por el cual el volante mueve el timón de profundidad le daremos una longitud significativa para que quede unido a la costilla 11.

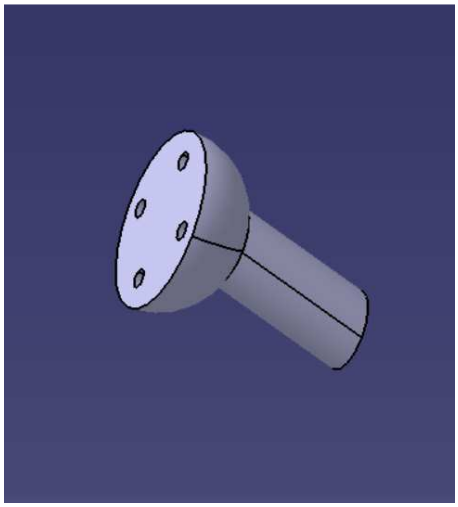


Figura 4-127. Unión entre volante y fuselaje modelado en CATIA

Lo último que modelaremos serán los tornillos mediante los cuales quedan unidos los sólidos anteriormente creados. Utilizaremos un tornillo tipo Allen DIN-912 de métrica 5 mm con un diámetro de la cabeza de éste de 8,5 mm y un espesor de esta de 5 mm. La longitud de estos tornillos será de 20mm.

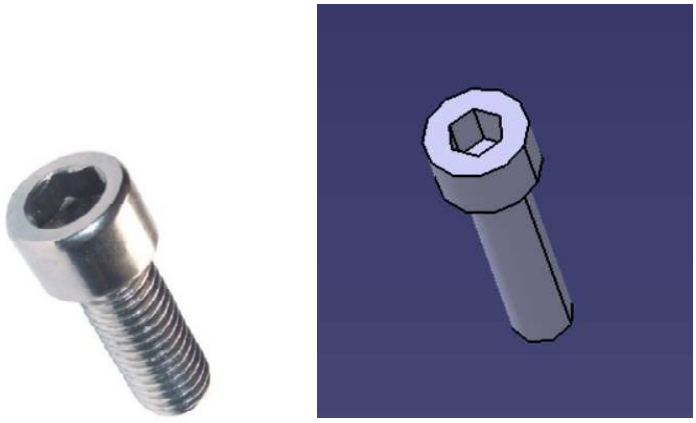


Figura 4-128. Tornillo Allen DIN-912 y modelado en CATIA

El conjunto completo ensamblado del volante tiene como resultado:

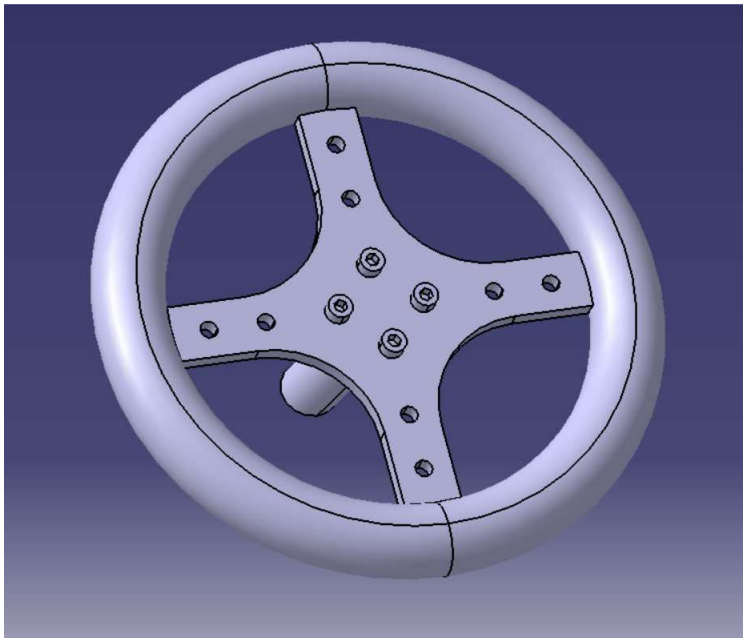


Figura 4-129. Conjunto volante modelado en CATIA

5 RESULTADO FINAL

Por último, se muestran varias fotos del avión real comparado con nuestro modelo en CATIA tras añadirle las pegatinas a la cola y al lateral del avión.

Figura 5-1. Foto real del Ansaldo SVA 5

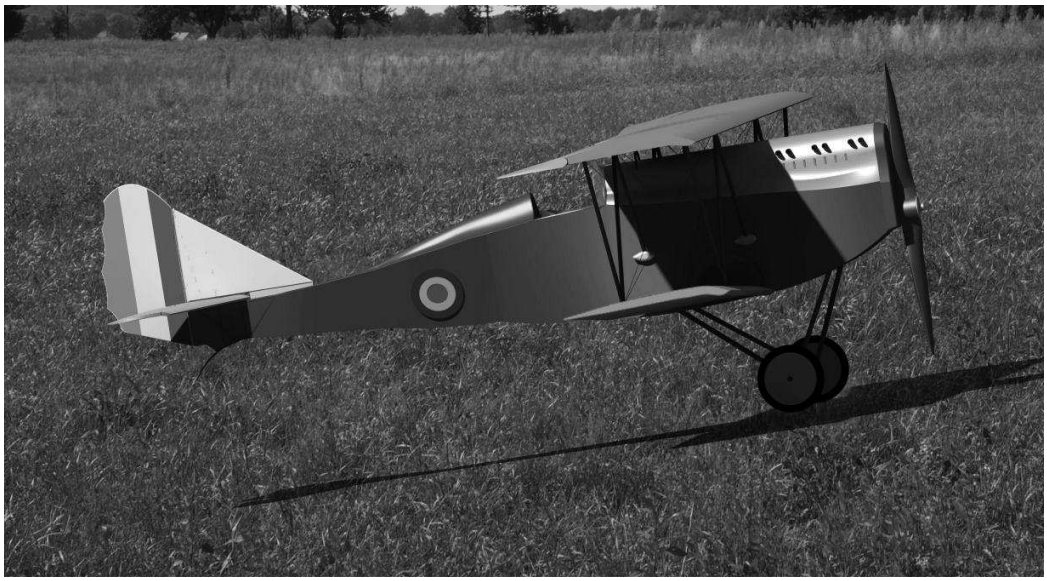


Figura 5-2. Recreación virtual del Ansaldo SVA 5 en blanco y negro

Figura 5-3. Foto real de Ansaldo SVA 5 en museo

Figura 5-4. Recreación virtual Ansaldo SVA 5 en museo

Figura 5-5. Recreación virtual SVA 5 en vuelo

6 CONCLUSIONES

Como punto y final de este proyecto expondremos las conclusiones que hemos podido sacar durante la realización de éste y expondremos los puntos que pueden mejorar o completar este Trabajo Fin de Grado.

Se ha podido observar en la realización de este proyecto, que el software CATIA es óptimo para realizar el modelado de piezas complejas y de estructuras completas en la que intervengan muchas partes o productos diferentes. Al poder profundizar en CATIA, hemos podido comprobar la multitud de módulos y herramientas que pone a nuestro alcance para que se pueda diseñar con bastante afinidad y similitud a la pieza o producto real que pretendemos recrear. No es de extrañar, por tanto, que sea uno de los softwares más utilizados en la industria aeronáutica, en el que las piezas y estructuras que deben diseñarse son de extrema complejidad.

En cuanto a nuestro diseño, debemos aclarar que hay diferentes piezas o partes del avión que se podrían haber diseñado con mayor detalle, pero debido a la poca información que teníamos de estos y al tiempo del que hemos dispuesto no ha sido posible. Con todo esto, hemos quedado plenamente satisfechos con el trabajo realizado, ya que no solo se ha diseñado con gran precisión en CATIA este avión, si no que se realizó un trabajo de investigación previo en el que tuve la oportunidad de visitar uno de los museos de aeronáutica militar más importantes de Italia y tener en mis propias manos documentos que poseen más de un siglo de historia.

7 TRABAJOS Y MEJORAS FUTURAS

Por último, realizamos una lista con las posibles mejoras o ampliaciones que pueden introducirse en nuestro modelado o a este proyecto:

- Modelado del grupo motor.
- Modelado de las conexiones mecánicas entre superficies de control y mandos de vuelo.
- Modelado del panel de instrumentos.
- Mejora en los detalles de las piezas que hemos diseñado en este proyecto.
- Estudio aerodinámico de la aeronave.
- Estudio estructural de la aeronave.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Massimo Mondini, «**Il Museo Storico dell'Aeronautica Militare di Vigna di Valle**», 2010

[2] Documentos facilitados por el Centro di Documentazione "Umberto Nobile" por Il Museo Storico dell'Aeronautica Militare di Vigna di Valle, 1918.

[3] Museo dell'Aeronautica Militare di Vigna de Valle, «**Ansaldo SVA 5**» [Online]. Available: http://www.aeronautica.difesa.it/storia/museostorico/Pagine/AnsaldoSVA5.aspx [Último acceso: 11 de abril]

[4] Luigino Caliaro, «**I raid della 1º Sezione SVA da Sovizzo**» [Online]. Available: http://www.avia-it.com/act/cera_una_volta/echi/CUV_Echi_2016/I_raid_della_1_Sezione_SVA_da_Sovizzo.pdf [Último acceso: 11 de abril]

[5] Subteniente Enrique Jesús Caballero Calderón, «**Un motor de automóvil adaptado a la aviación**», Boletín de Aeronáutica y Astronáutica nº 72, Diciembre 2012. [Online]. Available: http://www.avia-it.com/act/cera_una_volta/echi/CUV_Echi_2016/I_raid_della_1_Sezione_SVA_da_Sovizzo.pdf [Último acceso: 12 de abril]

[6] Agustín Reche, «**Estructuras principales del avión**», International Virtual Aviation Organisation, 2009. [Online]. Available:https://es.ivao.aero/

[7] Universidad de Sevilla, «**Descripción de las partes fundamentales de un avión**». [Online]. Available:

http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/4922/fichero/4_DESCRIPCION+DE+LAS+PARTES+FUNDAMENTALES+DE+UN+AVION.pdf